II 3 191

Mircea Flonta

PERSPECTIVĂ FILOSOFICĂ ȘI RAȚIUNE ȘTIINȚIFICĂ

Editura Științifică și Enciclopedică

Mircea Flonta

PERSPECTIVĂ FILOSOFICĂ ŞI RAŢIUNE ŞTIINŢIFICĂ

Presupoziţii filosofice în ştiinţa exactă

EDITURA ŞTIINŢIFICĂ ŞI ENCICLOPEDICĂ
BUCUREŞTI, 1985

Coperta de PETRE HAGIU

[illegible]
16 - 66

Redactor : MIRCEA RADIAN
Tehnoredactor : ANGELA ILOVAN

Coli de tipar : 24,50
Bun de tipar 22.04.1985

C. 887 — I. P. „INFORMAȚIA"
Str. Brezoianu Nr. 23 — 25
București

CUPRINS

Cuvînt înainte 9

INTRODUCERE 15

Capitolul I — Concepția curentă asupra obiectivității cunoașterii științifice 19

Capitolul II — Descoperirea infrastructurii filosofice a teoriilor științifice, ca dimensiune fundamentală a unei perspective istorice asupra dezvoltării gîndirii științifice . . 36

PARTEA ÎNTÎI — DIRECȚIA ESENȚIALISTĂ ȘI DIRECȚIA FENOMENALISTĂ ÎN FIZICĂ ; „FIZICĂ MECANICISTĂ“, „FIZICĂ ENERGETISTĂ“ ȘI „FIZICĂ NOUĂ“ . . 63

Capitolul I — Fizică mecanicistă versus știință romantică ; supoziții filosofice ale programului mecanicist 69

Capitolul II — Reacția fenomenalistă ; teoria economic-biologică a cunoașterii și teoria cunoașterii fizice a lui E. Mach 77

Capitolul III — Energetismul și „știința naturii liberă de ipoteze“ 89

Capitolul IV — Premise și implicații filosofice ale controversei științifice în jurul atomisticii . 100

Capitolul V — „Realismul științific“ al lui M. Planck, ca legitimare filosofică a fizicii noi . 114

Capitolul VI — Rațiuni filosofice ale rezistenței față de fizica nouă. „Fizica germană“ a lui P. Duhem și „fizica germană“ a lui Ph. Lenard 128

PARTEA A DOUA — PRESUPOZIȚII FILOSOFICE ÎN INTERPRETĂRILE MECANICII CUANTICE 145

Capitolul I — Începuturile teoriei cuantelor ; principiul cuantic și idealizările fizicii clasice . 149

Capitolul II — Emergența interpretării standard a mecanicii cuantice. Semnificația filosofică a principiului complementarității . . . 160

Interludiu filosofic 198

Capitolul III — Reacții conservatoare la interpretarea standard : poziția lui Einstein și Schrödinger 203

Capitolul IV — Reacții conservatoare la interpretarea standard : teoriile cu parametri ascunși 250

Capitolul V — Interpretări „obiective" sau realiste, ca expresii ale unei „insatisfacții filosofice" față de interpretarea standard a mecanicii cuantice 279

Capitolul VI — Inegalitățile lui Bell și alternativa actuală în interpretarea fundamentelor teoriei cuantelor 310

Capitolul VII — Epilog. O critică filosofică a ipotezei cuarcilor 332

CÎTEVA CONCLUZII 349

BIBLIOGRAFIE . 369

Philosophical Outlook and Scientific Reason. Philosophical Presuppositions in Exact Science (Summary) 385

Contents 391

„Orice ar spune și ar face, cercetătorii naturii sînt dominați de filosofie. Se pune numai întrebarea dacă vor să fie dominați de vreo filosofie de proastă calitate la modă sau de o formă a gîndirii teoretice bazată pe cunoașterea istoriei gîndirii și a cuceririlor ei."

FR. ENGELS, 1873

„În cazul carierei noastre, practicînd știința sub forme variate, am constatat, constatare pe care o făcuseră și alții mai înainte, că activitatea științifică e inseparabilă de filosofie. Orice om face filosofie, unul de mai bună, altul de mai proastă calitate."

GR. C. MOISIL, 1942

„De filosofie nu ne putem însă lipsi atunci cînd noi, care sîntem specialiști într-un domeniu oarecare, vrem să ne clarificăm asupra propriilor noastre prejudecăți. În istorie orice descriere, orice demers de cercetare metodică se sprijină pe o selecție a faptelor considerate semnificative. De ce considerăm noi însă tocmai aceste fapte drept semnificative ? De ce acordăm încrederea noastră tocmai acestor relatări și interpretări, și nu altora ? Între cei ce aparțin unei școli științifice există de cele mai multe ori un acord în asemenea probleme, iar o filosofie comună unui grup nu mai este resimțită de obicei ca filosofie. Propriile prejudecăți nu le recunoaștem ca prejudecăți, iar prejudecățile adversarilor noștri le calificăm de cele mai multe ori nu ca rezultate ale altor opțiuni filosofice, ci drept greșeli."

C. FR. von WEIZSÄCKER, 1964

CUVÎNT ÎNAINTE

Despre relațiile dintre filosofie și știința exactă s-au scris multe cărți și autorul nu dorește să le sporească numărul cu încă una care ar urma, ca atîtea lucrări utile, să prezinte sintetic și să examineze critic cele mai reprezentative puncte de vedere. Intenția lui este să considere această problematică de mare complexitate sub un singur aspect, dintr-un punct de vedere particular. Pentru conturarea lui cît de sumară ar putea fi utile unele considerații preliminare, cu caracter mai general.

Era suveranității autoritare a filosofiei în imperiul cunoașterii teoretice a apus pentru totdeauna. Nici o minte lucidă nu crede că filosofia este sau va putea redeveni vreodată *regina științelor*. Dar în vreme ce înrîurirea marilor prefaceri din fundamentele științei teoretice asupra gîndirii filosofice moderne este astăzi general recunoscută, observăm că mulți oameni de știință exactă, și chiar filosofi cu formație științifică, sînt înclinați să întîmpine cu reticență afirmații globale privitoare la rolul ideilor filosofice în cunoașterea științifică. În general, specializarea științifică și natura instrucției științifice contemporane favorizează ascensiunea unei reprezentări simpliste, liniare asupra relației dintre ideile științifice și filosofice în orizontul cunoașterii teoretice. O reprezentare ce subzistă mai mult ca mentalitate difuză, cu o mare diversitate de forme de expresie și manifestare. Dincolo de aceste variații, nu este însă prea greu să-i discernem supozițiile directoare. Știința teoretică, ni se sugerează, înaintează conducîndu-se după interese și criterii proprii, iar filosofia este ținută să o urmeze respectuos și la distanță. Corelația științificului și filosoficului apare astfel ca una pronunțat asimetrică; împrumuturile pe care le face filosofia și cîștigurile ei în acest proces de comunicare intelectuală sînt evidente, prezența și acțiunea eficientă a elementelor filosofice în munca științifică propriu-zisă, dimpotrivă, cel puțin îndoielnice. Supoziția de .cele mai multe ori tacită, dar adînc înrădăcinată, care susține o asemenea reprezentare este cea a neutralității judecății profesionale a cercetătorului și a evaluării științifice în general în raport cu opțiuni și înclinații filosofice. Ea pare indiscutabilă și tinde să devină un loc comun în măsura în care nu este disociată de înțelegerea curentă a obiectivității cunoașterii științifice.

Pentru a cîștiga distanțarea ce favorizează o examinare critică a acestei reprezentări este util să distingem între diferite planuri sau niveluri de convergență ale filosoficului și științificului, între diferite forme de infiltrare și acțiune a ideilor filosofice în structura gîndirii științifice.

Cînd se vorbește despre ceea ce datorează știința exactă filosofiei ne gîndim, în mod firesc, în primul rînd la marile teorii filosofice, la însușirea spontană a motivelor lor de către oamenii de știință, la modalitățile diferite în care aceste motive pot inspira și orienta inițiativele lor creatoare și, mai ales, la modul în care se pronunță ei asupra semnificației noilor realizări științifice, asupra naturii cunoașterii științifice și a metodei științifice în general. Este totuși greu de crezut că filosofia celor mai creatori oameni de știință s-ar limita la ceea ce ei au putut învăța de la filosofi în mod direct sau indirect, în cunoștință de cauză sau fără chiar să bage de seamă. Dacă atenția noastră se concentrează nu asupra discursului filosofic de respirație mai largă al cercetătorului din științele exacte ale naturii, ci asupra convingerilor sale profunde, a comportării sale ca practician al cercetării, va trebui să considerăm o distincție, este adevărat una relativă, fără contururi clare, între filosofia lui elaborată și filosofia lui latentă.

Oportunitatea și interesul unei asemenea distincții pot fi argumentate destul de simplu. Nu va trebui să insistăm asupra faptului că nucleul tare al filosofiei omului de știință exactă îl constituie acele reprezentări și criterii după care se conduce în alegeri și evaluări de însemnătate vitală din punct de vedere profesional, și anume, în cele ce nu pot fi asigurate și controlate prin aplicarea unor metode și procedee standard cu caracter tehnic. Ocaziile pentru asemenea alegeri și evaluări sînt cu atît mai numeroase cu cît munca cercetătorului este mai independentă, mai creatoare, mai îndepărtată de activitatea de rutină. Ele se prezintă într-o mare varietate de situații. Doresc doar să sugerez natura întrebărilor ce survin în asemenea situații prin cîteva formulări generale, desprinse de contextul ce le conferă o semnificație determinată : care sînt cele mai importante probleme cărora cercetătorul trebuie să le acorde prioritate ? ; care dintre acestea sînt cele mai urgente și cele mai promițătoare ? ; care sînt căile sau direcțiile în care trebuie căutată soluția lor ? ; ce condiții minime trebuie să îndeplinească aceste soluții sau răspunsuri pentru a fi considerate satisfăcătoare din punct de vedere științific ? Se poate spune că poziția pe care o adoptă un cercetător independent și cu orizont larg în asemenea probleme depinde de *intuiția* și *experiența* sa, dar aceasta este tot una cu a spune că ceea ce se exprimă în această poziție este filosofia lui latentă. Cuvîntul *experiență* acoperă în acest caz în primul rînd învățăminte, rareori clar și complet formulate, degajate prin reflecție asupra unor situații problematice ale cunoașterii, unele aparținînd trecutului mai îndepărtat, altele trăite chiar de cercetător. Iar *intuiția* desemnează un sentiment, o convingere puternică, chiar dacă difuză, puțin explicitată, cu privire la ceea ce este în primul rînd important pentru a asigura progresul cunoașterii, cu privire la ceea ce trebuie să căutăm, la condițiile pe care ar trebui să le satisfacă conceptele și ipotezele propuse de teoretician atunci cînd situația în care se găsește cercetarea și problemele pe care le ridică ea prezintă puține analogii cu situațiile din trecut.

Este posibil, fără îndoială, și este chiar de dorit ca acele intuiții și înclinații filosofice spontane care orientează, ca un puternic curent subteran, atitudinea și comportarea omului de știință exactă în situații critice, excepționale, să primească o elaborare sistematică, pînă la dimensiunile unui program filosofic. Despre unele schițe ale unor asemenea programe va fi, de fapt, vorba în cele ce urmează. Nu trebuie însă să pierdem din vedere că reflecțiile filosofice mai sistematice ale marilor personalități științifice oferă rareori o explicitare și întemeiere cît de cît satisfăcătoare ale idealurilor lor de cunoaștere, ale criteriilor lor de excelență științifică și prin urmare ale opțiunilor lor științifice fundamentale, ale orientărilor strategice care-i despart de alți cercetători ai timpului sau de cei din vremurile trecute, într-un cuvînt a ceea ce constituie esențialul în *filosofia* lor ca practicieni ai cercetării și ca arbitri ai opiniei științifice. Din diferite motive, o parte importantă din filosofia oamenilor de știință exactă a rămas pînă astăzi o filosofie nescrisă.

Cercetarea de față își propune să atragă atenția asupra unor determinante filosofice mai puțin vizibile ale teoretizării științifice, concentrînd analiza asupra straturilor adînci ale gîndirii fizicianului teoretician, asupra înclinațiilor și convingerilor sale filosofice latente, precum și asupra unor încercări de a le explicita, printr-o reflecție independentă asupra istoriei, în cadrul unei reprezentări generale despre căile de dezvoltare ale cunoașterii fizice. Este convingerea autorului că acest unghi de vedere poate să ofere o imagine mai cuprinzătoare și mai adecvată asupra prezenței și „lucrării“ ideii filosofice în substanța intimă a gîndirii științifice. Principii fundamentale ale descrierii fenomenelor, criterii de inteligibilitate și de relevanță explicativă rareori pe deplin explicitate ce conduc și controlează, adesea spontan, judecata și opțiunile teoreticianului nu sînt pur și simplu reflexe filosofice, produse secundare ale gîndirii științifice, și trebuie, prin urmare, să fie bine distinse de interpretările filosofice *post actu* ale unor noi descoperiri din știința teoretică. Ele au o natură în același timp filosofică și științifică și se împletesc de cele mai multe ori extrem de strîns cu elementele de ordin tehnic în construcția edificiului teoretic al științei exacte. Dezvăluirea acestei împletiri strînse a componentei filosofice cu cea tehnică în gîndirea și judecata omului de știință, degajarea unora din implicațiile și consecințele ei cele mai generale pot fi caracterizate drept obiectivele principale ale lucrării. Accentul cade pe dimensiunea filosofică internă a gîndirii științifice și autorul va fi mulțumit dacă cititorul avertizat va cădea de acord că, împotriva unei impresii superficiale, această dimensiune nu se micșorează, ci se amplifică în procesul evoluției istorice a științei exacte a naturii.

Ca profil, cartea este un studiu istorico-filosofic. Temele și concluziile ei sînt întemeiate pe ceea ce istoricii și filosofii științei numesc astăzi *analize de caz.* Toate informațiile istorice, pînă în amănunte, au fost adunate și ordonate din perspectiva unor interese și preocupări filosofice. Autorul nu este un profesionist al istoriei științei, ci doar un amator de istorie și nu are nici ambiția, nici pretenția de a fi produs contribuții istorice propriu-zise. În orice caz, obiectivele sale nu au fost de ordin istoric. Buna întemeiere a concluziilor filosofice atîrnă însă, bineînțeles, de fidelitatea și acuratețea relatărilor istorice. Iată de ce, el este pe deplin conștient că aceste concluzii pot să fie supuse unei critici istorice.

Nu este de asemenea de prisos precizarea că nu s-a urmărit realizarea unei istorii a controverselor filosofice pe care le-a generat dezvoltarea teoriei fizice în ultimul secol, așa cum ar putea să sugereze, la prima vedere, titlurile capitolelor și succesiunea istorică a episoadelor prezentate în cele două părți ale lucrării. În prima parte se examinează și se discută înfruntarea între două programe filosofice, concepția *esențialistă* și concepția *fenomenalistă* a cunoașterii fizice, înfruntare care a căpătat o acuitate deosebită la sfîrșitul secolului trecut și începutul secolului nostru, iar în cea de a doua, sursele și supozițiile filosofice în genere latente ale controverselor în interpretarea fizicii cuantelor. Tocmai această limitare a cadrului și interesului analizei filosofice a faptelor vieții științifice motivează repartizarea studiilor istorice în două părți de proporții inegale. Cititorul nu va găsi, de exemplu, o expunere sistematică a tuturor evoluțiilor teoretice și experimentale care au dus la triumful atomismului și declinul energetismului în primele două decenii ale secolului nostru, și nici o prezentare cuprinzătoare a ansamblului problemelor filosofice pe care le-a ridicat dezvoltarea teoriei cuantelor. Nu se spune bunăoară nimic despre teoria măsurării și despre logicile cuantice, două teme care ocupă poziții proeminente în metateoria fizicii cuantice.

Chiar și cu aceste limitări, cercetarea întreprinsă a fost pretențioasă din punctul de vedere al cerințelor documentării istorice. Identificarea motivelor de bază ale unei filosofii în mare măsură nerostite, rămase în stare practică, a omului de știință cere trierea și prelucrarea din acest punct de vedere a întregului material istoric. Dincolo de publicații științifice propriu-zise sau scrieri de popularizare, de pronunțări filosofice mai mult sau mai puțin ocazionale, trebuie să fie considerate relatările autobiografice, corespondența, luările de poziție în conversații particulare, notele de lectură sau reacțiile de lectură, așa cum apar ele în notații pe textul cărților citite, și altele. Informațiile mele asupra episoadelor pe care le prezint și le discut au rămas fără îndoială incomplete și uneori insuficiente. Oricum, adunarea datelor strict necesare pentru a asigura o bază minimă relatărilor istorice a cerut destule căutări și străduințe. Mulți colegi m-au ajutat semnalîndu-mi sau procurîndu-mi lucrări deosebit de utile. Accesul la surse de care nu mă puteam lipsi mi-a fost înlesnit de sprijinul pe care l-am primit din partea Bibliotecii Centrale Universitare și a Bibliotecii Centrale de Stat. Rămîn deosebit de îndatorat acestor instituții, colaboratorilor lor colegii Florin Grigoraș și Dan Totescu.

În realizarea proiectului meu am fost încurajat de interesul directorului Editurii științifice și enciclopedice, dr. Mircea Mâciu. M-aș bucura dacă rezultatul ar răspunde cît de cît așteptărilor sale. Cu redactorul lucrării, Mircea Radian, care a întîmpinat cu multă înțelegere și răbdare amînările ce au marcat lunga ei perioadă de pregătire, am colaborat, ca și în alte dăți, în cele mai bune condiții.

Deosebit de folositoare mi-au fost observațiile și sugestiile profesorului Ionel I. Purica care a citit manuscrisul cărții cu ochii fizicianului avizat. Nu am dat curs, este adevărat, unora dintre propuneri, dar ele mi-au permis să înțeleg mult mai bine așteptările și reacțiile față de această lucrare ale unui fizician teoretician cu pregătire istorică. Multe din precizările și sublinierile de mai sus pornesc de la comentariile și aprecierile întotdeauna pertinente ale profesorului Purica, căruia îi exprim, și pe această cale, mulțumirile mele sincere.

Manuscrisul a fost citit și de profesorul Remus Răduleț. Întîmpinările, observațiile și sugestiile sale nu le-am mai putut însă afla. Oricine s-a interesat la noi de probleme de felul celor pe care le discut a putut învăța ceva de la acest specialist care a reflectat asupra culturii domeniului său și a experienței proprii de cercetare într-un larg orizont de interese istorico-filosofice. Nădăjduiesc ca această carte să poată contribui la întreținerea preocupărilor de istorie și filosofie a științei exacte pe care cel dispărut le-a cultivat cu o exemplară seriozitate, sobrietate și modestie intelectuală.

iunie 1984

AUTORUL

Introducere

Se poate observa că universul teoretic al culturilor dezvoltate se constituie prin formule variabile, istoric și local specifice, de interacțiune, întrepătrundere și comunicare reciprocă ale gîndirii științifice și filosofice. S-ar putea scrie, fără îndoială, o istorie fascinantă a marilor reprezentări sau sinteze teoretice asupra universului, urmărindu-se în primul rînd configurația raporturilor dintre aceste două modalități fundamentale de organizare rațională a experienței, precum și procesele de destructurare și restructurare ale acestor raporturi, caracteristice pentru epocile de tranziție de la un tablou al lumii la altul. O asemenea istorie se află încă în faza proiectului și a schițelor preliminare. Scrierea ei nu a fost favorizată de perspectiva care a dominat mult timp, și domină încă și astăzi, înțelegerea raporturilor dintre filozofie și știință în lumea istoricilor culturii, ai filosofiei și ai științei.

În această perspectivă, filosoficul și științificul apar nu ca doi poli, opuși, dar în același timp indisociabili, inseparabili ai gîndirii teoretice, cel puțin în formele ei istorice dezvoltate, ci, mai degrabă, ca două domenii strict distincte, exterioare unul altuia, ale universului cunoașterii. Întrepătrunderea lor strînsă, pînă la contopire, ar exprima doar lipsa originară a conștiinței specificității și originalității fiecăruia dintre ele. Științele, ca și filosofia, ni se spune, și-ar fi cîștigat treptat conștiința de sine, și-ar fi asumat finalitatea lor specifică abia pe parcursul unei lungi și întortochiate evoluții intelectuale. Astfel, istoria constituirii spiritului științific ar fi istoria sacrificării deliberate, conştiente, a unor exigenţe absolutiste privitoare la aria de cuprindere şi gradul de certitudine ale teoriilor explicative, ca preţ ce trebuie plătit pentru atingerea unei cunoaşteri pozitive, cu valoare obiectivă. Invers, filosofia şi-ar fi dobîndit conştiinţa de sine pe măsură ce s-ar fi înţeles că acea cunoaştere obiectivă spre care năzuiesc ştiinţele, pe de o parte, şi „înţelegerea“ autentică, filozofică a existenţei, în primul rînd a existenţei umane, pe de altă parte, sînt complementare. (O istorie a dihotomiei *intelect-raţiune* sau a metamorfozelor ideii de „intuiţie a esenţelor“ în tradiţia filosofică ar fi instructivă din acest punct de vedere.) Filosofia şi ştiinţa ar exprima două situări sau poziţii fundamentale ale gîndirii abstracte, conceptuale în faţa existenţei : reprezentarea subiectivă asupra totalităţii şi cunoaşterea obiectivă asupra unora din elementele ce compun această totalitate. Prin conţinutul lor, aceste situări, ce corespund polarităţilor subiectiv-obiectiv, totalitate-parte, sînt simetric contrare şi se exclud reciproc. Ele constituie, totodată, prin reunire şi coexistenţă, universul gîndirii teoretice al celor mai evoluate culturi.

Dacă în secolele trecute o delimitare de domenii şi competenţe între gîndirea filosofică şi cea ştiinţifică se realizează, în cele din urmă, pe fundalul confruntării unor tendinţe „imperialiste“ ale spiritului ştiinţific şi filosofic, reprezentate cel mai bine de orientările empirist-sceptice şi pozitiviste tradiţionale, pe de o parte, şi de filosofia speculativă a naturii, de filosofia transcendentală (kantiană şi neokantiană), pe de altă parte, în vremea noastră au luat, se pare, o dezvoltare mai mare tendinţele autonomiste. Fenomenologia sau existenţialismul, pentru a numi doar două orientări influente în filosofia contemporană, afirmă nu numai independenţa şi neutralitatea filosofică a cunoaşterii pozitive, dar şi lipsa ei de relevanţă pentru gîndirea filosofică. În optica acestor concepţii, filosofia nu ar datora nimic cunoaşterii ştiinţifice pozitive. Ele proclamă o filosofie fără ştiinţă, independentă de cunoaşterea ştiinţifică. O poziţie diametral opusă poate fi degajată, cred, prin analiza concepţiei spontane sau a mentalităţii dominante încă în rîndurile cercetătorilor din ştiinţele exacte : cunoaşterea pozitivă, în particular forma ei cea mai dezvoltată, ştiinţa exactă a naturii, este liberă, în substanţa ei propriu-zisă, de orice presupoziţii filosofice. Se are în vedere, chiar dacă nu se afirmă deschis de cele mai multe ori, că gîndirea ştiinţifică şi-ar fi cîştigat o deplină independenţă faţă de probleme şi preocupări care au apărut şi s-au dezvoltat în cadrul tradiţiei filosofice. În cele ce urmează vor fi schiţate în mod sumar contururile acestei concepţii. Cartea îşi propune să întreprindă un examen critic al justificării şi limitelor ei.

Capitolul I

Concepţia curentă asupra obiectivităţii cunoaşterii ştiinţifice

> „Vremurile noastre par să poată fi distinse după tabuurile lor, printre care poate fi găsită convenţia clară că termenul *metafizică* nu trebuie să fie niciodată utilizat într-o societate ştiinţifică cuviincioasă."
>
> *H. MARGEANU* (1941)

> „În ştiinţa modernă, convingerile filosofice personale nu intervin *explicit* în lucrări publicate nu fiindcă sînt inexistente ci fiindcă putem să nu ţinem seama de ele."
>
> *G. HOLTON, D. H. D. ROLLER* (1958)

Un cercetător activ, cu personalitate, independenţă de gîndire şi spirit reflexiv, va avea întotdeauna un punct de vedere asupra naturii muncii sale, asupra condiţiilor care asigură progresul cunoaşterii ştiinţifice, chiar dacă nu beneficiază de o cultură filosofică cît de cît sistematică şi nu consacră o parte din timpul şi energia sa unor preocupări propriu-zis filosofice. El are, pur şi simplu, o reprezentare despre ceea ce face ca profesionist al ştiinţei. Este firesc ca punctele de convergenţă dintre această reprezentare spontană şi cea a colegilor săi să fie numeroase şi ca procesul de comunicare între specialişti să favorizeze constituirea unei mentalităţi colective. O mentalitate care se exprimă în sentinţe, aforisme, istorisiri şi anecdote de mare circulaţie în mediile ştiinţifice, în ceea ce am putea numi un „folclor ştiinţific", dar, în primul rînd, într-un anumit mod de a considera istoria disciplinei şi de a judeca ideile, punctele de vedere şi abordările momentului, de a reacţiona faţă de situaţiile problematice ale cercetării. De obicei, cercetătorii de mare prestigiu din ştiinţele exacte ale naturii[1], care sînt purtătorii de cuvînt ai grupurilor profesionale, încearcă să dea o formulare mai sistematică acestor reprezentări colective despre exigenţele de bază ale unei abordări ştiinţifice şi condiţiile de validare ale rezultatelor cercetării, pentru uzul cercetătorilor din domenii care nu au atins un grad comparabil de maturitate ştiinţifică (de exemplu, unele domenii ale ştiinţelor sociale) şi pentru publicul mai larg. Ei articulează astfel distinct ceea ce practicianul ştiinţelor exacte intuieşte, cunoaşte şi înţelege din experienţa de fiecare zi, învăţînd să facă cercetare şi practicînd cercetarea. Introducerile manualelor şi tratatelor ştiinţifice, lecţiile inaugurale, discursurile academice, conferinţele şi scrierile de popularizare a ştiinţei şi, eventual, mici lucrări cu caracter filosofic sînt tot atîtea prilejuri pentru formularea unor reflecţii generale asupra naturii cunoaşterii ştiinţifice.

Se spune adesea că esenţa cunoaşterii ştiinţifice se exprimă în *metoda ştiinţifică.* O ştiinţă exactă nu ar putea fi definită prin domeniul ei, ci numai prin metoda ei. *Metoda ştiinţifică* desemnează un ansamblu de condiţii şi cerinţe generale, a căror respectare asigură o evaluare obiectivă a ideilor ştiinţifice. Unii cercetători, subliniind că procedurile şi tehnicile folosite în diferite domenii de cercetare sînt foarte diferite, afirmă că termenul *metodă ştiinţifică* ar fi nepotrivit fiindcă ar sugera profanului impresia greşită că există un corp de prescripţii generale, a căror aplicare ar putea asigura succesul cercetării. Dezacordul este, evident, de natură terminologică. Cei ce contestă existenţa metodei ştiinţifice o gîndesc ca ansamblul condiţiilor necesare şi suficiente pentru obţinerea unor rezultate cu valoare ştiinţifică, în timp ce aceia ce vorbesc despre metoda ştiinţifică în general au în vedere condiţii necesare minime, a căror respectare favorizează dar nu asigură obţinerea de noi cunoştinţe ştiinţifice[2]. Indiferent dacă se utilizează sau nu acest termen generic, din exprimările unor reprezentanţi autorizaţi ai comunităţii ştiinţifice, din examinarea comportării şi reacţiilor cercetătorilor, precum şi din expuneri standard ale istoriei ştiinţelor matematice ale naturii pot fi desprinse clar contururile generale ale unei reprezentări larg împărtăşite asupra obiectivităţii cunoaşterii ştiinţifice.

---

[1] Prin *ştiinţe exacte* ale naturii sînt desemnate disciplinele matematizate ale căror teorii sînt supuse unui control obiectiv, prin confruntarea consecinţelor deduse din ele cu datele experienţei ştiinţifice. Modelul sau paradigma ştiinţei exacte este astăzi fizica teoretică.

Ideile ştiinţifice, ni se spune, pot veni pe cele mai diferite căi, sub impulsul unei mari varietăţi de motive şi experienţe subiective, dar ele trebuie să fie expuse cu cît mai mare precizie şi apoi să fie examinate şi criticate pe baza unor standarde clare, general recunoscute, a căror respectare va asigura consensul, unanimitatea judecăţii profesionale. O caracteristică revelatoare a vieţii ştiinţifice este că cercetători foarte diferiţi ca structură intelectuală, cultură şi înclinaţii subiective, cad de acord asupra criteriilor de evaluare a ideilor ştiinţifice şi le pot aplica relativ uniform, ajungînd la judecăţi convergente. Fizicianul care încearcă să rezolve o problemă de natură experimentală sau teoretică poate alege cele mai diferite căi. Nu există exigenţe şi restricţii care să limiteze această libertate de alegere. Presentimentul, intuiţia, analogia sau raţionamentul sistematic nu pot fi în mod *a priori* privilegiate. Fiecare din ele pot să facă posibilă o reuşită ; nu există însă o anumită facultate sau un anumit demers mintal a căror solicitare să asigure în mod sistematic reuşita. Numai comunicarea şi evaluarea ideilor ştiinţifice, a soluţiilor propuse de cercetători pentru probleme ştiinţifice general recunoscute sînt supuse unor exigenţe determinate, unor standarde cu caracter universal şi obligatoriu. Potrivit unei exprimări cu circulaţie, trebuie să distingem între procesul creaţiei ştiinţifice, care are un caracter privat, personal, şi procesul întemeierii rezultatelor cercetării, care are un caracter public. În procesul de creaţie nu există nici un fel de reguli. Cercetătorii pot să dea frîu liber imaginației sau să o controleze, să procedeze ordonat, sistematic, sau oricît de fantezist. Ei nu sînt ținuți să-și expună și să-și justifice motivațiile care i-au orientat, nu numai fiindcă acestea pot adesea să nu fie conștiente, ci și fiindcă cunoașterea căilor prin care s-a ajuns, într-un caz sau altul, la o idee nouă, prezintă un interes psihologic, care poate deveni, în cazul unei descoperiri de însemnătate epocală, un interes de ordin istoric. Nu este important să știm cum s-a născut o ipoteză științifică pentru a judeca valoarea ei și, în orice caz, nimic din ceea ce am putea ști despre geneza unui concept sau a unei idei nu ne poate asigura de valoarea lor științifică. Dacă căile cercetării sînt individuale, profund impregnate de personalitatea cercetătorilor, rezultatele trebuie să aibă, în schimb, o valoare obiectivă, impersonală. Este ceea ce unii autori numesc *dualitatea științei.* (Vezi G. Holton, D. H. D. Roller, pag. 234.) Deși imaginația creatoare are un rol esențial, ea nu este, totuși, definitorie pentru știință. Cunoașterea științifică se distinge de alte întreprinderi teoretice prin controlul obiectiv, intersubiectiv al ideilor. În știința exactă obiectul controlului îl constituie, în primul rînd, demersurile deductive, matematice și faptele experimentale. Posibilitatea de a reproduce experimentele, deducțiile și calculele, precum și procesul derivării consecințelor experimentale din ipotezele teoretice, prin deducții și calcule, creează bazele unui consens general în aprecierea bunei întemeieri și a valorii de cunoaștere a rezultatelor cercetării. Fiindcă o cunoaștere despre realitate, cum este cunoașterea fizică, se întemeiază pe experiență, accentul cade pe caracterul obiectiv al experimentelor științifice. Sublinierea întemeierii experimentale a teoriilor fizice vizează evidențierea caracterului obiectiv al cunoașterii fizice în general[3]. Se relevă, de obicei, că deși cercetarea naturii a fost practicată, încă de mult timp, de minți pătrunzătoare, ea a progresat sistematic mai ales în ultimele două secole, cînd experimentul măsurat a început să fie utilizat în mod metodic pentru controlul ideilor teoretice.

---

[2] „Încercînd să rezumăm ceea ce metoda ştiinţifică are în comun în toate ştiinţele, vom constata că există într-adevăr unele cerinţe evidente : o atitudine de imparţialitate, hotărîrea de a lua în considerare toate posibilităţile rezonabile, dorinţa de a depune orice fel de eforturi pentru a fi exact, ori de cîte ori acest lucru este posibil. Este de asemenea necesar să nu ne prea lăsăm influenţaţi de idei preconcepute.“ (G. Thomson, pag. 21.)

---

[3] „Principiul științei, aproape definiția ei, este : *proba oricărei cunoașteri este experiența.* Experiența este singurul judecător al 'adevărului' științific." (R. P. Feynman /2/, pag. 20.) Expunînd cerința ca implicațiile experimentale derivate cu rigoare și consecvență din principiile unei teorii fizice să fie supuse confruntării cu faptele, un alt fizician contemporan exprimă astfel punctul de vedere al omului de știință : „Dacă aceste concluzii sînt în acord cu faptele de observație, foarte bine și frumos. Dacă nu se întîmplă așa, teoria trebuie să cadă." (Vezi A. Romer, pag. 948.)

O exigenţă elementară şi în acelaşi timp fundamentală a cercetării este ca cel ce propune un rezultat nou să-l supună în prealabil unei examinări critice, aplicînd criteriile după care se conduc şi colegii săi. Cercetătorul autentic va încerca să imagineze cît mai multe posibilităţi de a-şi infirma propriile idei şi concluzii. Omul de ştiinţă obiectiv şi critic, care îşi controlează cu imaginaţie şi imparţialitate rezultatele înainte de a le supune atenţiei comunităţii specialiştilor, va risca mai puţin să fie confruntat cu obiecţii critice pe care nu le-a avut în vedere şi pentru care nu poate găsi răspunsuri. Se poate presupune că el va examina mai multe argumente critice potenţiale la adresa ideilor sale decît cei mai interesaţi şi imaginativi dintre colegii săi [4]. Instanţa supremă de validare a rezultatelor cercetării este însă decizia juriilor ştiinţifice, a reprezentanţilor autorizaţi ai comunităţii cercetătorilor competenţi, decizie care este, la rîndul ei, sub controlul comunităţii largi. Ar fi însă greşit să se înţeleagă că în concepţia curentă, populară, valoarea obiectivă a rezultatelor cercetării este redusă la consensul intersubiectiv al oamenilor de ştiinţă calificaţi. Acest consens este interpretat, de obicei, doar ca indiciul sau dovada indirectă că noţiunile şi legile ştiinţei oferă o descriere aproximativ adecvată a proceselor şi structurilor lumii reale. Tocmai acest înţeles îl dau fizicienii acordului sistematic al predicţiilor deduse dintr-o teorie fizică cu datele experienţei ştiinţifice.

Spre deosebire de concepţia inductivistă tradiţională, reprezentarea modernă asupra obiectivităţii cunoaşterii ştiinţifice nu contestă că omul de ştiinţă se lasă condus în cercetările sale de idei preconcepute, care s-au infiltrat în mintea sa pe căi nu întotdeauna ştiute, prin lecturi mai mult sau mai puţin întîmplătoare sau prin contactul cu ideile care circulă în mediul intelectual pe care îl frecventează. Problema cercetătorului este însă de a explicita, pe cît îi stă în putinţă, supoziţiile generale ale ideilor sale științifice şi de a le supune unei examinări obiective, în lumina datelor experienței. Nu libertatea față de prejudecăți, de obișnuințe de gîndire și de idei general acceptate îl distinge pe omul de știință adevărat, ci preocuparea și capacitatea de a le identifica și de a le supune unei critici tot atît de severe și exigente cum este cea pe care o exercită asupra noțiunilor și ipotezelor specifice domeniului său de cercetare. A adopta anumite supoziții fără critică, drept evidențe incontestabile, înseamnă a încălca o exigență elementară a spiritului științific[5]. Explicitarea supozițiilor tacite ale unor puncte de vedere și concluzii științifice nu este, desigur, întotdeauna un obiectiv ușor de realizat. Pot să rămînă supoziții ascunse, care scapă perspicacității generațiilor de cercetători. Obiectivitatea științifică nu va fi pusă însă în discuție de succesul doar parțial al eforturilor îndreptate în această direcție. Probitatea științifică se exprimă atît în preocuparea cercetătorului de a identifica și a examina critic supozițiile și cadrele generale în care se mișcă gîndirea științifică, cît și în capacitatea sa de a accepta întotdeauna verdictul pe care îl impune evaluarea obiectivă, imparțială, condusă de criterii general recunoscute, oricît de mult ar contraveni aceasta speranțelor, așteptărilor, dorințelor și înclinațiilor sale. Urmează că, în mentalitatea științifică curentă, orice încercare de a susține o poziție științifică sau un program de cercetare științifică prin invocarea unor convingeri filosofice personale va fi socotită drept o violare a unei reguli de bază a comportării științifice[6]. Este în natura științei exacte, ni se repetă cu insistență, ca personalitatea cercetătorului să fie cu totul eliminată din rezultatele cu valoare obiectivă ale activității sale. Pentru știință, ca întreprindere cumulativă, impersonală, faptul că o teorie sau un concept științific au fost introduse de un anumit om, de o personalitate distinctă este, dincolo de interesul istoric și recunoașterea meritului personal, ceva indiferent. În acest context ar putea fi înțeleasă, poate mai bine, o cunoscută sentință a lui Whitehead : „O știință ce ezită să-și uite fondatorii este pierdută“[7].

---

[4] „Este foarte uşor să propui o idee radicală ; pricepere şi efort sînt cerute pentru a stabili şi a determina relaţiile consecinţelor ei cu rezultatele experimentelor. Mare parte din eforturile fizicienilor are ca obiect examinarea consecinţelor ideilor şi nu producerea întîmplătoare de idei netestate." (R. C. Adair, pag. 9.)

---

[5] „De foarte multe ori, nu posibilitățile cele mai rezonabile sînt cele ce corespund situației reale... În fapt, ceea ce este necesar pentru ca știința să existe, sînt spirite care nu acceptă să impună *a priori* condiții naturii, ca cele ale acestui filosof." (R. P. Feynman /3/, pag. 179—180.) Atitudinea critică, sceptică față de orice fel de premise și supoziții este prezentată, de obicei, ca o trăsătură fundamentală ce distinge spiritul cunoașterii științifice de cel al filosofiei speculative. O teorie speculativă este judecată în primul rînd din punctul de vedere al coerenței ei interne, al consecvenței concluziilor în raport cu principii adoptate pe temeiuri de evidență rațională. Dimpotrivă, o teorie științifică poate să se întemeieze pe principii cît de neintuitive și neevidente, dacă consecințele derivate din ele concordă cu faptele și conduc la cunoașterea unor fapte noi. Singurul criteriu pentru a aprecia valoarea ipotezelor teoretice în știință este modul cum rezistă ele unei critici riguroase și obiective. Putem adopta „orice ipoteze, cît de mult ar viola ele simțul comun și filosofia sănătoasă, dacă producem o teorie puternică, pe care o apreciem". (A. Romer, pag. 952.)

În reprezentările curente, obiectivitatea cunoașterii științifice este caracterizată cu predilecție prin referire la anumite trăsături ale discuțiilor și controverselor științifice. O idee face parte din corpul științei exacte numai atunci cînd toți cercetătorii calificați vor putea să cadă de acord asupra înțelesului ei și asupra unei aprecieri determinate a valorii ei de cunoaștere. Se presupune, prin urmare, că există întotdeauna temeiuri obiective, constrîngătoare, care pot decide deznodămîntul unei controverse științifice. Este adevărat că cercetătorii nu-și vor putea justifica întotdeauna evaluările prin invocarea unor criterii generale ale excelenței științifice, ceea ce este de înțeles dacă ținem seama de faptul că ei se conduc, de obicei, mai degrabă după anumite modele sau situații exemplare, pe care și le-au însușit în procesul formării lor profesionale, decît după reguli metodologice generale[8]. Indiferent însă de împrejurarea dacă cercetătorii își întemeiază sau nu judecățile prin raportare la criterii formulate explicit, se consideră că ei vor fi întotdeauna în măsură, chiar dacă uneori după o perioadă mai îndelungată de elaborare și evaluare a argumentelor *pro* și *contra*, să declare o ipoteză drept confirmată sau infirmată sau să aprecieze o teorie sau o linie de cercetare ca fiind științific superioară alteia. O deosebire de păreri oricît de profundă ar fi ea, între cercetători competenți va putea fi în cele din urmă înlăturată dat fiindcă o examinare atentă a situației problematice, în condițiile preocupării consecvente a părților pentru cunoașterea adevărului, va conduce, cu necesitate, la concluzii convergente. Specialiștii raționali și critici vor reuși să identifice, în cele din urmă, sursa neînțelegerilor și a dezacordurilor și să le depășească, producînd argumente constrîngătoare pentru toți cei calificați. Omul de știință veritabil este imparțial, fără prejudecăți ; el nu ascultă decît de „constrîngerea blîndă" a rațiunii. El este critic față de orice supoziții și puncte de vedere preconcepute, înclinat să considere că orice bun argument științific are o valoare constrîngătoare și că, în principiu, se pot produce asemenea argumente în orice problemă științifică. Se admite, desigur, că realitatea se abate uneori de la acest model normativ. Căci, „oamenii de știință sînt și ei oameni". Lipsa de stăruință în descoperirea și înlăturarea dificultăților de comunicare, orgoliul și false considerații de prestigiu, incapacitatea de a înțelege o idee științifică revoluționară sau de a o accepta ca o descoperire de însemnătate capitală fiindcă vine din partea unui cercetător pînă atunci obscur, prejudecăți politice sau religioase și mulți alți factori subiectivi pot să explice de ce anumite dezacorduri între oamenii de știință nu pot fi *de facto* eliminate. Numai că, în asemenea situații, o examinare mai atentă ne va arăta că cel puțin una din părțile angajate în

---

[6] „Există o singură dogmă în știință, aceea că oamenii de știință nu trebuie să accepte, în mod orb, dogme stabilite.“ (St. G. Brush /2/, pag. 1165.)

[7] „În lucrările omului de știință, motivat de convingeri personale, nu se găsește nici o urmă a acestor convingeri . . .“ (G. Holton, D. H. D. Roller, pag. 238.) Și mai departe : „El (omul de știință — M. F.) știe că singurul punct asupra căruia va fi de acord cu colegii săi sînt demonstrațiile solide și experimentele repetabile, că înclinațiile lui personale și ale lor pot să nu coincidă, că aceste înclinații trebuie să rămînă private și, din punctul de vedere al științei publice, incidentale.“ Exprimări de acest fel abundă în lucrări ale fizicienilor contemporani scrise pentru un public mai larg.

[8] Practicienii științei atrag atenția că judecata le este orientată de intuiții ce se lasă greu explicitate, reduse la reguli și criterii metodologice standard. Educația științifică, experiența practică a cercetării și comunicarea intensă între specialiști favorizează o uniformizare considerabilă a acestor intuiții și, prin

---

urmare, consensul în evaluări, chiar atunci cînd acestea nu pot fi întemeiate prin raportare la reguli general recunoscute. Iată doar cîteva exprimări concludente în acest sens ale unui mare fizician contemporan. Observînd că putem ști dacă o ipoteză este bună înainte de a-i calcula toate consecințele, el nota : „Adevărul poate fi recunoscut după frumusețea lui, după simplitatea lui. Cînd nimerim bine, aceasta se vede într-un mod evident... Căci, în general, beneficiile sînt superioare investițiilor." Și mai departe : „Dacă nu vedeți imediat eroarea și este mai simplu decît înainte, atunci este adevărat." (R. P. Feynman /3/, pag. 208.)

controversă a încălcat reguli nescrise ale comportării științifice. Dacă vom putea da socoteală întotdeauna de caracterul ireductibil al unor dezacorduri în probleme științifice prin invocarea unor rațiuni de ordin extraștiințific sau chiar extraintelectual, atunci recunoașterea existenței lor nu aduce nici o atingere concepției curente asupra obiectivității cunoașterii științifice[9]. O concluzie importantă ce se degajă din această concepție este că judecata științifică, situarea cercetătorului în problemele de specialitate, este autonomă nu numai în raport cu intențiile sau înclinațiile lui subiective ca om, ca membru al unei comunități sociale, ci și cu opțiunile lui filosofice fundamentale. Acestea din urmă nu ar putea să aibă decît o relevanță slabă și indirectă, în nici un caz majoră în abordarea și soluționarea problemelor propriu-zis științifice. O asemenea reprezentare asupra obiectivității cunoașterii științifice țintește, între altele, să pună în lumină contrastul dintre condiția controverselor științifice și a confruntărilor filosofice. Pentru cercetătorul de rînd această concepție apare drept corectă, de vreme ce este în acord cu propria lui experiență, și atrăgătoare, în măsura în care subliniază preeminența cunoașterii științifice. Ideea autonomiei judecății științifice în raport cu presupoziții sau concepții de natură filosofică poate fi considerată drept o trăsătură caracteristică, o dominantă a reprezentării curente asupra obiectivității și raționalității cunoașterii științifice. Este firesc să ne întrebăm care au fost experiențele ce au dus la înrădăcinarea profundă a acestui punct de vedere în mentalitatea științifică curentă. Ele au fost, cred, mai multe și cu acțiune convergentă. Voi aminti doar două, a căror influență mi se pare precumpănitoare.

---

[9] Se poate observa totuși, și faptul mi se pare simptomatic, că oamenii de știință de astăzi, care au o conștiință acută a valorii științei exacte, a poziției ei excepționale în sistemul valorilor teoretice ale culturii moderne, nu se opresc cu plăcere asupra unor divergențe între mari cercetători, care nu au putut fi depășite, îndeosebi cînd pozițiile divergente conduc la opțiuni diferite asupra orientării strategice a cercetării. Foarte semnificative sînt, din acest punct de vedere, biografiile sau prezentările făcute de cercetători activi unor mari personalități științifice ca Boltzmann, Einstein sau de Broglie, ale căror opțiuni filosofice i-au adus, la un moment dat, într-o stare de acută izolare în comunitatea fizicienilor teoreticieni. Autorul a putut constata, din observații proprii, lipsa de entuziasm și chiar de interes a unor oameni de știință exactă pentru această temă.

Prima este experienţa istorică a luptei pentru emanciparea ştiinţei de sub tutela autorităţii teologice şi a filosofiei dogmatice, precum şi împotriva unor încercări mai recente, întreprinse de forţe şi instituţii extraştiinţifice, de a dicta din raţiuni exterioare intereselor cunoaşterii un punct de vedere în probleme de natură ştiinţifică. Tentativele de corupere a vieţii ştiinţifice şi a spiritului ştiinţific prin impunerea autoritară a unor judecăţi şi standarde de evaluare, întemeiate pe principii filosofice sau religioase, adoptate în mod dogmatic, exercită o impresie profundă şi statornică asupra noilor generaţii de oameni de ştiinţă[10]. Prevenirea cercetătorilor asupra pericolului de subordonare necondiţionată a judecăţii ştiinţifice faţă de concepţii şi puncte de vedere care se bucură de o autoritate excepţională rămîne pînă astăzi un obiect central al educaţiei ştiinţifice. Dacă istoria gîndirii ştiinţifice ne apare, între altele, drept istoria identificării, examinării critice şi reconsiderării unei mari varietăţi de obişnuinţe de gîndire şi idei preconcepute, înseamnă că disponibilitatea de a pune la îndoială şi de a examina critic toate premisele de la care pleacă cercetătorul va trebui să fie considerată drept o condiţie esenţială a progresului cunoaşterii ştiinţifice.

O a doua categorie de experienţe, care au contribuit la consolidarea reprezentării curente cu privire la independenţa ştiinţei exacte faţă de orice idei şi presupoziţii filosofice, a fost adîncirea specializării cercetării şi dezvoltarea ştiinţei de masă, îndeosebi după cel de-al doilea război mondial. În generaţia lui Planck sau Einstein, fizicienii teoreticieni erau încă puţini la număr şi se concentrau îndeosebi asupra unor probleme de semnificaţie principială pentru explicarea naturii, cu mare încărcătură filosofică. O generaţie sau două mai tîrziu, situaţia s-a schimbat mult. Teoreticienii, în marea lor majoritate, sînt preocupaţi de chestiuni tehnice speciale fără să se mai confrunte în mod direct, frontal cu probleme principiale, fundamentale ale cunoaşterii fizice. Doar un grup relativ restrîns de teoreticieni integrează şi generalizează rezultatele acestor cercetări, încercînd să propună idei fundamental noi. Examinarea acestora generează însă, din nou, o mare varietate de probleme tehnice, speciale, cărora li se consacră marea majoritate a specialiştilor. Oricît de importante ar fi cercetările acestora din urmă pentru progresul cunoaşterii fizice, nu este mai puţin adevărat că implicarea lor în orizontul marilor idei unificatoare este foarte slabă sau inexistentă. Activitatea de fiecare zi şi experienţa sa profesională în ansamblu îi creează cercetătorului obişnuit o mentalitate pragmatică [11]. Problemele cu rezonanţă filosofică îi apar ca foarte îndepărtate, situate la distanţe mari de sfera ştiinţei exacte. O legătură directă între chestuinile la care lucrează şi idei de natură filosofică i se pare exclusă. În general, el este înclinat să creadă că legătura dintre filosofie şi ştiinţa exactă, dată fiind marea deosebire în probleme şi metode de lucru, poate fi stabilită numai indirect, pe căi ocolite. O legătură mai directă s-a putut stabili doar în etapele mai puţin mature de dezvoltare a ştiinţei exacte. Lucrînd la probleme bine specificate, în cadre determinate, el nu are motive să creadă că ştiinţa sa ar putea conţine alte ingrediente decît cele matematice şi experimentale, care sînt sub controlul unor metode tehnice mînuite cu un înalt grad de consens intersubiectiv. Tocmai măiestria în utilizarea acestor metode tehnice, capacitatea de a le îmbunătăţi sau de a introduce metode noi sînt însuşirile de care depinde, în primul rînd, prestigiul profesional al cercetătorului specializat. El va pune, în mod spontan, o soluție reușită a unei probleme tehnice speciale, a cărei însemnătate și dificultate sînt general recunoscute, deasupra oricărei speculații, cît de îndrăznețe, care ar putea deschide, eventual, noi căi de dezvoltare cunoașterii fizice. Este firesc ca, o dată ce fizica teoretică este înțeleasă într-o măsură tot mai mică, și de tot mai puțini cercetători, ca o sforțare de a înțelege și explica lumea, și în măsură tot mai mare drept rezolvare de probleme tehnice speciale cu semnificație teoretică sau tehnologică, să fie consolidate o atitudine și o stare de spirit care favorizează teza neutralității filozofice a științei exacte, a independenței ei față de orizontul ideilor generale.

---

[10] „Dreptul nostru de a ne îndoi s-a născut în lupta împotriva autorităţii, în zilele timpurii ale ştiinţei. Aceasta a fost o luptă profundă şi aprigă. Permiteţi-ne să ne punem întrebări, să ne îndoim, să nu fim siguri. Cred că este important să nu uităm însemnătatea acestei lupte şi să nu pierdem, poate, astfel, ceea ce am cîştigat." (Vezi R. P. Feynman /1/, pag. 7.)

---

[11] Fără a împărtăşi poziţia unilateral negativă a lui Popper faţă de specializarea ştiinţifică, pe care filosoful o incriminează ca generatoare a unei „atitudini postraţionaliste“, trebuie să recunoaştem că el a găsit formule sesizante pentru a caracteriza mentalitatea pragmatică, de autosuficienţă şi impermeabilitate faţă de tot ceea ce depăşeşte orizontul tehnic al domeniului îngust de specialitate, atitudine proprie multora din practicienii de astăzi ai cercetării. Referindu-se la situarea noii generaţii de fizicieni teoreticieni „care se mîndresc cu stăpînirea uneltelor şi privesc de sus spre noi, ca amatori care trebuie să lupte pentru a înţelege ce fac şi ce spun“, Popper o contrastează cu atitudinea unor cercetători ca Einstein, Schrödinger sau Bohr. Caracterizînd poziţia lui Schrödinger în problemele principiale ale cunoaşterii fizice, Popper scrie în continuare: „De ce i s-a răspuns lui Schrödinger doar prin argumente ce nu pot fi luate nici un moment în serios? Cred că motivul este că distinşii lui critici nu mai iau în serios argumentele. Dacă Schrödinger i-ar fi surprins încă o dată cu un nou formalism, ei l-ar fi ascultat din nou cu multă atenţie. Dar *numai cuvinte* nu-i mai interesează pe specialiştii noştri, nici chiar dacă vin de la un om care a făcut cel puţin tot atît de mult pentru domeniul lor, ca oricare altul.“ (K. R. Popper /7/, pag. 156—157.)

Reprezentarea curentă asupra obiectivității cunoașterii științifice a avut un rol determinant în constituirea concepției cumulaționiste asupra dezvoltării gîndirii științifice, concepție ce stă la baza istoriografiei tradiționale a științei [12]. Potrivit acestei concepții, istoria dezvoltării gîndirii științifice este istoria detașării cunoașterii pozitive de speculația filosofică, istoria constituirii și consolidării instituțiilor științifice autonome, a criteriilor și standardelor obiective de evaluare a ideilor științifice și, în principal, istoria dezvoltării continue, cumulative a cunoștințelor științifice grație observării și aplicării consecvente a exigențelor *metodei științifice*. Este concepția ce stă la baza activității „cronicarilor științei", cercetători din diferite discipline care se consacră adunării de informații despre viața personalităților științifice ale trecutului, despre istoria descoperirilor lor, despre organizarea și activitatea instituțiilor științifice, în particular a publicațiilor științifice, despre evoluția instrumentelor științifice etc. Ea a oferit cadrul filosofic general pentru o importantă tradiție istoriografică, tradiția *istoriei generale a științei*, inaugurată la începutul secolului de autori ca P. Tannery și G. Sarton. În această tradiție, realizările științifice ale trecutului sînt privite în primul rînd drept anticipări și contribuții la știința prezentului. Studiul trecutului științei nu ne poate învăța deci ceva important cu privire la natura cunoaşterii ştiinţifice. Progresul cunoaşterii ne apare ca fiind rezultatul aplicării consecvente, neabătute de către cercetători a cerinţelor metodei ştiinţifice; dimpotrivă, erorile, greşelile, perioadele de stagnare sînt explicate prin nesocotirea acestor cerinţe. În particular, se recunoaşte că unele concepte şi idei ştiinţifice, caracterizate printr-un grad înalt de noutate, s-au izbit uneori de o rezistenţă mai îndelungată din partea unor medii ştiinţifice. O asemenea recunoaştere nu contravine însă imaginii relativ idilice asupra progresului ştiinţifice, pe care o cultivă istoriografia tradiţională a ştiinţei. O anume reticenţă faţă de rezultate ce s-au dovedit, în cele din urmă, a avea o mare valoare ştiinţifică este de înţeles dacă ţinem seama de faptul că cei care le-au propus nu au putut produce, de la început, probe cu adevărat constrîngătoare în sprijinul lor. Dacă persistenţa acestei rezistenţe, dincolo de un anumit punct, vădeşte influenţa unor prejudecăţi şi slăbiciuni omeneşti de care nu sînt liberi nici slujitorii ştiinţei, uneori nici chiar cei mai de seamă, în schimb acceptarea finală a acestor rezultate de către comunitatea ştiinţifică exprimă triumful spiritului obiectivităţii ştiinţifice, a exigenţelor metodei ştiinţifice. Ideea caracterului monolitic şi imuabil al *metodei ştiinţifice,* idee centrală în concepţia cumulaţionistă asupra dezvoltării cunoaşterii ştiinţifice, goleşte istoriografia tradiţională a ştiinţei de orice semnificaţii filosofice majore ; ea confirmă doar prin exemple ceea ce ştim deja. Pe de altă parte, în măsura în care structurile social-economice şi concepţiile filosofice dominante ale unei epoci istorice sînt considerate doar drept condiţii exterioare care fac posibilă cercetarea ştiinţifică, fără să exercite vreo influenţă asupra proceselor interne şi a orientărilor cunoaşterii pozitive, rezultă că, în cadrul acestei tradiţii, trecutul ştiinţei nu constituie nici obiectul unui interes istoric autentic [13].

---

[12] Pentru conceptul de istorie sau istoriografie tradițională a științei și pentru o caracterizare mai largă a acestei concepții cumulaționiste, vezi și M. Flonta /1/.

Istoriografia tradiţională a ştiinţei nu contestă, în principiu, rolul pe care îl pot avea idei şi convingeri filosofice în orientarea gîndirii unor mari creatori de ştiinţă. Istorici ai ştiinţei de factură tradiţională, cei puțin cei din generațiile mai noi, pot desigur să admită că o idee științifică nouă nu dă întotdeauna roade de la început și că este nevoie de multă încredere, forță de convingere și capacitate de a atrage aderenți pentru a o elabora pînă la punctul în care valoarea ei se impune opiniei științifice. În asemenea situații, o anumită viziune filosofică poate să capete o însemnătate vitală. Convingerile subiective pot menține și amplifica încrederea în sucecesul final al unei idei, al unei direcții de cercetare. Se recunoaște că dacă nu ținem seama de acțiunea lor putem cu greu înțelege entuziasmul care îi susține pe eroii științei în munca lor, capacitatea acestora de a-și jertfi sănătatea și alte interese de prim ordin pentru realizarea unui proiect științific. Motivele metafizice care au susținut gîndirea științifică a lui Copernic, Galilei sau Kepler sînt invocate ca ilustrări. Se subliniază totodată, însă, că evaluarea finală a rezultatelor unui program de cercetare și acceptarea lui va fi condiționată exclusiv de argumente demonstrative și exigențe cu valoare obiectivă, constrîngătoare, independente de convingerile filosofice subiective, care i-au putut susține la un moment dat pe creatorii și apărătorii săi. Se sugerează că există întotdeauna un interval de timp, chiar dacă nu foarte strict determinat, după care devine posibilă o evaluare întemeiată exclusiv pe probe obiective. O dată ce acest moment a fost atins, concepțiile filosofice care au putut contribui un timp la promovarea unor idei științifice noi încetează să mai aibă vreun rol [14].

---

[13] Înţelegem mai bine această concluzie, considerînd următoarea exprimare din *Mecanica cerească* a lui Laplace : „Cînd am stabilit, în cele din urmă, cauza adevărată a unui fenomen, este o chestiune de curiozitate să privim înapoi şi să vedem cît de mult se apropie de adevăr ipotezele imaginate pentru a-l explica."

O întemeiere filosofică a reprezentării familiare despre obiectivitatea cunoașterii științifice, despre independența judecăților științifice de presupoziții de natură filosofică, a fost dată în reconstrucțiile filosofice ale metodei cunoașterii științifice, elaborate în cadrul modelului ipotetico-deductiv al științei teoretice. Dintre aceste reconstrucții, cele mai influente au fost cele propuse de empirismul logic și de raționalismul critic. Obiectivul fundamental urmărit prin aceste reconstrucții este evidențierea caracteristicilor ce disting construcțiile teoretice cu valoare obiectivă ale științei exacte de teoriile speculative. Punctul lor de plecare este supoziția că sistemul științei exacte poate fi redus la componente logice și empirice, susceptibile să fie supuse unui control intersubiectiv strict. Metodele logice, inductive sau deductive, permit atît controlul necontradicției sistemelor teoretice, cît și a inferențelor prin care se derivă din principiile teoriei enunțuri ce pot fi confruntate în mod direct cu datele observației și experimentului. Pe temeiul acestei confruntări pot fi formulate judecăți obiective, controlabile asupra valorii ipotezelor și a sistemelor teoretice. Distincția dintre elementele subiective ce intervin în procesul elaborării ideilor științifice și demersurile care fac posibil controlul acestor idei, le conferă calitatea de cunoștințe cu valoare obiectivă, apare ca distincție între *contextul genezei (descoperirii)* și *contextul justificării (validării)*. Termenii au fost introduși de H. Reichenbach, în lucrarea *Experiență și predicție*, publicată în 1938, dar distincția ca atare a fost formulată clar în lucrări anterioare, de exemplu, în *Logica cercetării* a lui K. R. Popper, care apare în 1934[15]. Această distincție, care a devenit centrală în filosofia anglo-saxonă a științei de la mijlocul secolului, poate fi considerată ca o elaborare și consacrare filosofică a punctului de vedere curent că aprecierea obiectivă a valorii de cunoaștere a ideilor științifice este independentă în raport de orice fel de premise de natură filosofică, în particular, de opțiunile filosofice ale cercetătorilor. Se subliniază că ideile științifice nu se deosebesc de alte idei prin modul cum iau naștere, ci exclusiv prin modul cum sînt întemeiate sau validate. Procesele de gîndire care intervin în constituirea ideilor științifice mai conțin un important coeficient subiectiv și personal. Convingeri extraștiințifice, în special convingeri filosofice, pot să aibă un mare rol în aceste procese. Dimpotrivă, normele și criteriile care stau la baza evaluării critice a ideilor științifice și reprezintă sîmburele metodei științifice au un caracter impersonal. Aplicarea lor conduce la judecăți convergente, care nu au nici o legătură cu convingerile filosofice personale ale cercetătorilor[16]. Evaluările care asigură obiectivitatea cunoașterii științifice sînt cu totul independente de asemenea convingeri și înclinații.

---

[14] Al. Koyré exprimă sugestiv acest mod de a vedea lucrurile, scriind că reprezentările filosofice sînt privite doar ca „suporturi, schelării care îl ajută pe savant să-și formuleze concepțiile științifice, care, odată construcția științifică terminată, pot să fie înlăturate, și sînt efectiv înlăturate de generațiile următoare". (Vezi Al. Koyré /3/, pag. 255.)

---

[15] „Am caracterizat, mai sus, activitatea cercetătorului științific spunînd că el formulează și testează teorii. O analiză logică a primei părți a acestei activități, inventarea teoriilor, nu mi se pare nici posibilă, nici necesară. Întrebarea cum se întîmplă ca să-i vină cuiva o idee nouă ... interesează psihologia empirică și nu logica cunoașterii. Aceasta din urmă nu se interesează de *probleme de fapt* (Kant : *„quid facti“*), ci numai de *probleme de drept* sau de valabilitate (*„quid juris“*) — adică de probleme de tipul următor : dacă și cum poate fi întemeiat un enunț ; dacă este testabil (empiric controlabil) ; dacă depinde logic de alte enunțuri sau este în contradicție cu ele ș.a.m.d. Pentru ca un enunț să poată fi examinat din punctul de vedere al logicii cunoașterii, în acest fel, el trebuie să existe deja : cineva trebuie să-l fi formulat, să-l fi propus discuției logice. Doresc deci să disting net între procesul genezei unei idei, pe de o parte, și metodele și rezultatele discuției ei logice, pe de altă parte, și să stărui asupra faptului că definesc sarcina teoriei cunoașterii astfel încît ea are de examinat numai metodele testării sistematice, căreia trebuie să-i fie supusă orice idee, dacă e să fie luată în serios.“ (K. R. Popper /1/, pag. 75—76.)

Sub acțiunea conjugată a mentalității sau a concepției spontane a cercetătorului specializat, a scrierii tradiționale a istoriei științei și a unor influente reconstrucții filosofice ale metodei cunoașterii științifice, reprezentarea curentă, care leagă strîns obiectivitatea cunoașterii în știința exactă de independența ei față de filosofie, s-a înrădăcinat profund în conștiința publicului larg. Ceea ce se poate vedea foarte bine, între altele, în influența pe care a exercitat-o această reprezentare asupra începuturilor sociologiei științei. R. Merton și școala sa o acceptă ca neproblematică, formulînd pe baza ei un sistem de prescripții care are nu numai o semnificație metodologică, ci şi una morală[17], aşa-numitele „structuri normative ale ştiinţei" sau „etosul ştiinţei". Dintre cele patru norme ştiinţifice cardinale, formulate de Merton, universalismul, colectivismul, dezinteresarea şi scepticismul organizat, îndeosebi prima şi ultima explicitează supoziţii de bază ale reprezentării curente asupra obiectivităţii şi raţionalităţii cunoaşterii ştiinţifice : ideile ştiinţifice sînt întemeiate exclusiv prin raportare la criterii impersonale[18] ; în ştiinţă toate părerile şi convingerile sînt examinate în mod detaşat, în termenii unor criterii logice şi empirice. (Vezi R. Merton, pag. 617.) Asemenea remarci vizează, evident, nu numai dogmatismul religios, ci şi ideile filosofice în general, concepute în mod unilateral ca antiteză a cunoaşterii obiective. Ca şi marea majoritate a cercetătorilor şi filosofilor ştiinţei din acea vreme, Merton presupunea, cînd scria aceste rînduri, că descrie însăşi esenţa atitudinii ştiinţifice, şi nu o perspectivă determinată, legitimă în cadre date, dar în acelaşi timp limitată asupra condiţiilor şi garanţiilor de obiectivitate ale cunoaşterii în ştiinţa exactă.

---

[16] Iată cum este exprimat acest punct de vedere într-o lucrare de introducere în metodologia cunoașterii științifice, scrisă de pe pozițiile empirismului logic : „Știința nu dorește să obțină convingeri pentru enunțurile ei, în nici un fel și cu nici un preț. Enunțurile trebuie să fie sprijinite pe dovezi logic acceptabile, care trebuie cîntărite cu grijă și testate prin raportare la canoanele bine cunoscute ale inferenței necesare și probabile." (M. Cohen, E. Nagel, pag. 295.) Iar Popper scria : „Nu contează aici cîtuși de puțin intensitatea convingerilor subiective ; pot să fiu pe deplin convins de adevărul unui enunț, de evidența unei percepții, de puterea de convingere a unei trăiri, orice îndoială poate să mi se pară absurdă. Dar poate, totuși, știința să accepte, pe acest temei, enunțul meu ? Poate ea oare să-l întemeieze pe considerentul că domnul N.N. este pătruns de adevărul lui ? Răspunsul este negativ ; un alt răspuns nu este compatibil cu ideea obiectivității științifice." (K. R. Popper /1/, pag. 87.)

---

[17] „Întreaga structură a normelor tehnice şi morale asigură realizarea obiectivului final. Norma tehnică a unei baze empirice adecvate, valide şi demne de încredere, este o condiţie pentru o predicţie întemeiată sau adevărată ; norma tehnică a consistenţei logice este o condiţie pentru o predicţie sistematică şi validă. Normele ştiinţei posedă o raţionalitate metodologică, dar ele angajează nu numai fiindcă sînt eficiente din punct de vedere procedural, ci şi fiindcă sînt considerate drept juste şi bune. Ele sînt în aceeaşi măsură prescripţii morale şi tehnice." (R. Merton, pag. 606—607.)

[18] „Obiectivitatea exclude particularismul. Împrejurarea că formulările ştiinţifice verificate se referă la succesiuni şi corelaţii obiective pledează împotriva tuturor eforturilor de a impune criterii particularistice de validitate." (R. Merton, pag. 607.)

Capitolul II

Descoperirea infrastructurii filosofice a teoriilor ştiinţifice, ca dimensiune fundamentală a unei perspective istorice asupra dezvoltării gîndirii ştiinţifice

> „Să admitem cu domnul Burtt că ideile filosofice nu sînt decît schele ... Or, fiindcă rareori se construiesc case fără acestea, concepţia lui Burtt ne poate conduce la o concluzie diametral opusă, şi anume cea a necesităţii absolute a schelelor ce susţin construcţia şi o fac posibilă. Gîndirea ştiinţifică poate, desigur, să le îndepărteze *post factum*. Dar numai pentru a le înlocui cu altele. Sau, poate, pentru a le lăsa să cadă în uitare, în inconştienţa lucrurilor la care nu ne mai gîndim, ca la regulile de gramatică pe care le uităm pe măsură ce învăţăm o limbă, care dispar din conştiinţă în momentul în care o domină în cea mai mare măsură."
>
> *AL. KOYRÉ* (1954)

Concepţia curentă asupra obiectivităţii cunoaşterii ştiinţifice este solidară, cum am spus, cu o viziune cumulaţionistă asupra dezvoltării istorice a cunoaşterii în ştiinţele exacte. În această viziune, dinamismul ştiinţei se exprimă în primul rînd în schimbări ale elementelor tehnice ce constituie conţinutul cunoaşterii pozitive. Progresul ştiinţific apare ca acumulare treptată de noi fapte, concepte, teorii şi metode, care se adaugă celor existente, le corectează uneori, este adevărat, dar le conservă şi le justifică, totodată, în limite determinate, pentru condiţii tot mai bine precizate. Se presupune, chiar dacă se afirmă rareori, că ţelurile, idealurile şi exigenţele generale ce caracterizează şi disting cunoaşterea ştiinţifică rămîn neschimbate de-a lungul istoriei ştiinţei exacte[1]. Revoluţiile ce marchează istoria ştiinţei sînt văzute ca schimbări profunde în conceptele şi teoriile de bază ale unui domeniu de cercetare, schimbări care ar lăsa neatinse însă ţelurile şi criteriile generale ale cunoaşterii ştiinţifice. Acestea din urmă sînt exprimate, într-o formă condensată, în reprezentarea curentă asupra metodei ştiinţifice : cercetarea năzuieşte spre o cunoaştere cît mai obiectivă şi cît mai precisă a faptelor şi spre o adaptare cît mai strînsă, împinsă cît mai departe, a ideilor teoretice la faptele ştiinţifice. Despre metoda ştiinţei, despre valorile cunoaşterii ştiinţifice, cercetătorul vorbeşte de obicei cînd se adresează celor situaţi în afara cetăţii ştiinţifice. Căci practicianul cercetării îşi însuşeşte criteriile cunoaşterii ştiinţifice, de cele mai multe ori, în mod spontan, pe bază de exemple, în procesul formării sale profesionale. Oricum ar fi însă însuşite aceste criterii se presupune că ele au o valoare universală, astfel încît prin raportare la ele s-ar putea delimita problemele, ipotezele şi teoriile ştiinţifice de cele care nu au calitate ştiinţifică, în orice moment determinat al istoriei intelectuale a omenirii. Se admite, desigur, că metodele şi procedurile ştiinţei exacte diferă foarte mult de la o disciplină ştiinţifică la alta şi de la o epocă istorică la alta. Dar ele posedă toate, ni se sugerează, însuşirea de a permite supunerea ideilor noastre asupra naturii controlului experienţei, în sensul strict al termenului. Cercetările întreprinse prin utilizarea lor consecventă satisfac, deci, exigenţa generală a unei abordări ştiinţifice.

---

[1] Într-o lucrare recentă, această poziţie este prezentată în următorii termeni : „...există o metodă, 'metoda ştiinţifică', prin aplicarea căreia este obţinută cunoaşterea asupra lumii, dar

Această perspectivă normativă abstractă, anistorică asupra criteriilor ştiinţificităţii este una din supoziţiile tacite dar esenţiale ale istoriografiei tradiţionale a ştiinţei. Ea domina încă nestingherită la sfîrşitul secolului trecut şi începutul secolului nostru cînd de trecutul ştiinţei se interesau, alături de specialişti cu pregătire stan-

---

care odată produsă (oricare ar fi mijloacele folosite), nu este în principiu supusă schimbării în lumina convingerilor, oricare ar fi acestea ... există reguli ale raţionării — de exemplu, regulile logicii deductive sau inductive — care sînt aplicate în raţionarea ştiinţifică dar care nu pot fi niciodată schimbate pe temeiul rezultatelor ştiinţifice, oricare ar fi ele ... Există concepte 'metaştiinţifice', ca 'date', 'teorie', 'explicaţii' care sînt utilizate în descrierea conceptelor, susţinerilor şi argumentelor ştiinţifice, care au semnificaţii ce sînt cu totul independente de conţinutul specific al ştiinţei şi care definesc în mod colectiv ceea ce este ştiinţa şi va fi ea întotdeauna." (D. Shapere /2/, pag. 449—450.)

dard, ale căror interese și preocupări istorice erau de obicei foarte limitate[2], istorici ai științei care împărtășeau, chiar dacă cu unele rezerve, o concepție empiristă și pozitivistă asupra cunoașterii științifice. O alternativă radicală față de istoriografia tradițională a științei a început să se contureze abia începînd din deceniul al patrulea al secolului nostru. Ea a fost propusă de autori care au abordat studiul istoriei gîndirii științifice beneficiind atît de o pregătire filosofică sistematică, cît și de experiența specifică a cercetărilor istorico-filosofice. Printre aceștia îi amintesc pe E. Meyerson, E. Cassirer, L. Brunschvicg și A. L. Mayer. Cel mai reprezentativ este însă, fără îndoială, Alexandre Koyré, care a desfășurat o lungă carieră de istoric al filosofiei și al științei, mai întîi în Franța, între cele două războaie, iar apoi, de la începutul celui de al doilea război mondial, în Statele Unite ale Americii. În ciuda unor unilateralități recunoscute ale concepției sale istoriografice[3], Koyré poate fi considerat drept inițiatorul unei ere noi în istoriografia științei exacte.

În cele ce urmează, noua orientare istoriografică, inaugurată de Koyré, va fi considerată și caracterizată doar sub un singur aspect, și anume, din punctul de vedere al contribuției ei la evidențierea unor supoziții și determinante filosofice, în mare măsură implicite, tacite ale gîndirii științifice, a căror identificare este esențială pentru o înțelegere istorică adecvată a specificului marilor etape și direcții de gîndire care s-au succedat în evoluția științei exacte. Nu se poate îndeajuns sublinia că prezența motivelor filosofice în țesătura gîndirii științifice nu se impune, pur și simplu, cercetătorului obiectiv al faptelor istorice. Aceste motive se relevă doar unui spirit pregătit printr-o situare filosofică generală antiempiristă și antipozitivistă, instruit de experiențele cercetării istorico-filosofice cu privire la caracterul relativ și istoric al cadrelor conceptuale generale ale gîndirii, deprins să caute, cînd citește texte scrise de oameni de știință din alte epoci, acele criterii de relevanță și inteligibilitate științifică care le pot restitui o coerență, o transparență și o fluiditate care lipsesc în mare măsură atît timp cît le considerăm din perspectiva criteriilor științei actuale [4]. (Este ceea ce un alt istoric contemporan, H. Butterfield, numește un nou fel de a vedea același obiect — în speță un nou fel de a citi același text — ce survine o dată cu schimbarea „ochelarilor gîndirii".) Numai cercetători ai trecutului științei cu asemenea disponibilități, care sînt dezvoltate cu deosebire de formația istorică, ca și de formația filosofică clasică, vor fi pregătiți să caute și să scoată la iveală acele reprezentări ale savanților din alte epoci despre natura și despre țelurile cunoașterii științifice, în ceea ce ele au specific și ireductibil în raport cu cele curente astăzi, care ne permit să înțelegem întrebările pe care și le-au pus aceștia și criteriile după care au judecat ei caracterul adecvat al răspunsurilor.

---

[2] Th. S. Kuhn scrie că ei „au fost istorici doar prin înclinație și, deci, și-au format țelurile și valorile pornind, în principal, de la un alt domeniu...“. (Th. S. Kuhn /3/, pag. 152.)

[3] Al. Koyré a cercetat istoria gîndirii științifice exclusiv din punctul de vedere al relațiilor ei cu gîndirea filosofică și religioasă, contestînd în mod principial, programatic, influența factorilor social-economici asupra proceselor istorice ale evoluției cunoașterii în știința exactă.

---

[4] O situare pe care un reprezentant mai recent al noii orientări istoriografice o caracterizează spunînd că, în loc să caute exclusiv „contribuțiile permanente ale unei științe mai vechi la imaginea noastră de azi", istoricul științei „încearcă mai degrabă să dezvăluie integritatea istorică a acelei științe în vremea sa". (Th. S. Kuhn /1/, pag. 46.) Istoricul american insistă cu deosebire asupra însemnătății pe care o are, pentru succesul unei reconstituiri istorice a gîndirii științifice, capacitatea cercetătorului de a identifica și scoate la iveală idealuri și criterii de inteligibilitate științifică cu valoare istorică și locală, relatînd, între altele, o experiență personală care a avut un mare rol în cristalizarea propriilor sale idei asupra dezvoltării cunoașterii științifice. Citind *Fizica* lui Aristotel, cu intenția de a găsi aici anticipări ale concepțiilor și problemelor dinamicii clasice, el a fost izbit de faptul că o minte altminteri pătrunzătoare nu a putut produce în acest domeniu decît greșeli din cele mai grosolane și afirmații vădit absurde. Considerînd că această impresie nu poate fi decît înșelătoare, Kuhn s-a angajat să caute acele „componente permanente ale universului lui Aristotel, elementele lui ontologice, primare și indestructibile", a căror considerare este în măsură să redea textului aristotelic un minimum de sens și coerență pentru cititorul contemporan. Descoperind asemenea componente, scrie Kuhn, „nu am devenit un fizician aristotelician, dar am învățat, într-o anumită măsură, să gîndesc ca un asemenea fizician. În consecință, nu mi-a fost greu să înțeleg de ce Aristotel a afirmat ceea ce a afirmat despre mișcare sau de ce afirmațiile sale au fost luate în considerație cu atîta seriozitate. Am continuat să văd dificultăți în fizica sa, dar ele nu îmi mai apăreau stridente și puține dintre ele mi se păreau că pot fi caracterizate drept greșeli propriu-zise." (Th. S. Kuhn /2/, pag. 37—38.)

În investigațiile sale istorice, Koyré era inspirat, după propria sa mărturisire, de ideea unității gîndirii umane în formele ei superioare, în special a gîndirii filosofice și științifice. El opunea în mod declarat această idee perspectivei curente, pe care o numea „pozitivistă“, potrivit căreia istoria gîndirii științifice este istoria eliberării progresive a cunoașterii pozitive de sub influența ideilor filosofice, a întemeierii ei exclusive pe fapte ce pot fi controlate și examinate critic. Marile revoluții științifice ale secolului al XX-lea, la fel ca cele ale secolului al XVIII-lea sau ale secolului al XIX-lea, deși se întemeiază pe descoperirea de fapte noi, sînt, în esență, rezultatul și expresia unor prefaceri de ordin filosofic. Aceste revoluții au reprezentat, în primul rînd, o schimbare profundă în categoriile gîndirii, în concepția asupra naturii și asupra științei. Se poate spune, prin urmare, că influența ideilor filosofice asupra dezvoltării gîndirii științifice este tot așa de mare ca și influența, general recunoscută, a teoriilor științifice asupra dezvoltării gîndirii filosofice. Căci cercetarea trecutului științei exacte dintr-o perspectivă istorică autentică relevă că în spatele marilor curente ale gîndirii științifice stau „substructuri“ sau „orizonturi“ filosofice diferite, incompatibile. (Vezi Al. Koyré /3/, pag. 253.) În studiile sale, devenite clasice, asupra marii revoluții științifice din secolul al XVII-lea[5], Koyré și-a propus să arate că aceasta a transformat nu numai conținutul ci și cadrele cele mai generale ale gîndirii științifice. Marile revoluții din istoria științei exacte sînt, în viziunea lui Koyré, în primul rînd prefaceri profunde în ceea ce am putea numi *fundamentele filosofice ale gîndirii științifice*[6]. Koyré lasă însă să se înțeleagă că ele nu apar astfel pentru beneficiarii acestor revoluții din generațiile următoare. O dată ce o nouă perspectivă filosofică asupra naturii şi ştiinţei s-a impus, fiind adoptată de întreaga comunitate a oamenilor de ştiinţă, ea apare cercetătorilor din noile generaţii ca ceva de la sine înţeles. Treptat, însăşi conştiinţa existenţei unei asemenea perspective, a rolului ei în structurarea şi susţinerea gîndirii ştiinţifice, se va pierde. Ştiinţa teoretică a naturii va fi redusă astfel la conţinutul ei de fapte, legi, teorii, metode şi probleme şi înţeleasă ca o cunoaştere fără presupoziţii, liberă, cum se spune, de orice idei preconcepute. De unde şi reprezentarea curentă asupra autonomiei gîndirii ştiinţifice. Istoricul care priveşte ştiinţa trecutului doar ca o prefigurare a ideilor, teoriilor şi metodelor ştiinţei actuale poate, desigur, să treacă cu vederea dislocările profunde în cadrele conceptuale ale gîndirii, care marchează momentele critice ale evoluţiei istorice a cunoaşterii ştiinţifice şi să o considere doar ca o acumulare relativ lină a cunoştinţelor prezentului, ca un proces treptat, continuu, de înlăturare a prejudecăţilor şi erorilor. Procedînd astfel, el îşi va închide însă accesul spre o înţelegere istorică autentică a marilor etape de dezvoltare ale gîndirii ştiinţifice. Privite din punctul de vedere al „infrastructurii filosofice“ a ştiinţei actuale, o infrastructură a cărei existenţă şi acţiune ne scapă în mod obişnuit, teoriile ştiinţifice ale unei alte epoci ne vor apărea adesea drept monstruoase, de neînţeles.

---

[5] Vezi îndeosebi *Etudes galiléennes* (1939), *From the closed World to the infinite Universe* (1957), *La révolution astronomique* (1961) și *Newtonian Studies* (1964).

[6] „Istoria gîndirii științifice ne învață, deci, (eu voi încerca, cel puțin, să susțin aceasta) : 1. Că gîndirea științifică nu a fost niciodată în întregime separată de gîndirea filosofică. 2. Că marile revoluții științifice au fost întotdeauna determinate de răsturnări sau schimbări ale concepțiilor filosofice. 3. Că gîndirea științifică — vorbesc de științele fizice — nu se dezvoltă *in vacuo*, ci se găsește întotdeauna în interiorul unui cadru de idei, de principii fundamentale, de evidențe axiomatice care, în mod obișnuit, au fost considerate ca aparținînd în mod propriu filosofiei.“ (Al. Koyré /3/, pag. 256.)

Nimic nu este nou sub soare ! Vom putea găsi, desigur, şi anticipări ale ideilor lui Koyré. Surprinzător poate să pară doar că spiritul general al abordării sale a fost prefigurat în mod clar într-o lucrare de tinereţe, puţin cunoscută, a unui filosof român care s-a consacrat abia mult mai tîrziu, în o doua parte a vieţii sale, unor preocupări mai sistematice de istorie şi filosofia ştiinţei. Este vorba de o cărticică a lui Lucian Blaga, *Cultură şi cunoştinţă*, apărută în 1922, traducerea românească a tezei sale de doctorat, caracterizată de autor drept o încercare de a aplica *metoda culturală* în teoria cunoaşterii. Într-un capitol intitulat *Problema ştiinţifică,* Blaga semnalează ceea ce el numeşte *funcţia imperativă* pe care o au unele idei generale în cunoaşterea ştiinţifică. Este vorba de idei ce fixează anumite condiţii care vor trebui să fie satisfăcute de orice explicaţie ştiinţifică acceptată ca satisfăcătoare în cadrul unei anumite tradiţii ştiinţifice. Aceste idei intrevin ca intermediar între faptele de experienţă şi explicaţia teoretică a acestor fapte. Propunînd, de exmeplu, ipoteza vibraţiilor pentru explicarea propagării sunetului, Huyghens a fost condus de „ideea mecanistă", de ideea că orice fenomen natural poate şi trebuie să fie descris printr-un model mecanic. (Vezi L. Blaga /1/, pag. 40—41.) Asemenea exigenţe, după care se conduce efectiv cercetătorul, nu sînt formulate de obicei explicit în lucrările ştiinţifice şi pot scăpa uşor atenţiei istoricului şi filosofului ştiinţei. Nu trebuie deci să surprindă că în analiza structurii unei explicaţii ştiinţifice se iau în considerare, îndeobşte, doar două elemente : fenomenele de explicat şi teoria care le explică. Blaga insistă însă asupra necesităţii de a diferenţia trei momente : 1) *fenomenele* de explicat (în exemplul de mai sus, fenomenele acustice), 2) *ideea generală* (în acest caz, „ideea mecanistă") şi 3) *construcţia creatoare*, care este teoria explicativă „prin care se face oarecum împreunarea celor două momente dintîi". (Vezi L. Blaga /1/, pag. 42.) Punctul de vedere formulat limpede de filosoful român este că o explicaţie teoretică în ştiinţa exactă este condiţionată în mod dublu de datele experienţei ştiinţifice şi de idealul explicativ al cercetătorului. Rolul presupoziţiilor filosofice în determinarea structurii gîndirii teoretice în cele mai respectate ştiinţe este astfel afirmat fără nici un echivoc, într-o perioadă de apogeu a influenţei empirismului şi pozitivismului în istoria şi filosofia ştiinţei. „Ideea anticipatoare cu care omul de ştiinţă operează ca şi cu o ţintă de realizat, împreună cu fenomenele, în care vrea să-şi concretizeze ţinta — formează 'problema propriu-zisă' ; construcţia teoretică, prin care se realizează ideea anticipată, corespunde 'rezolvării'. Ideea anticipată determină *conţinutul* rezolvării, şi are o însemnătate constitutivă pentru aceasta". (L. Blaga /1/, pag. 43.) Marile epoci de dezvoltare ale unei ştiinţe teoretice pot fi distinse prin *imperativele* sau *idealurile explicative*, după care se conduc în mod spontan cercetătorii atunci cînd formulează, triază şi evaluează ipoteze explicative[7]. Oricît de pronunțată ar fi puterea de rezistență, inerția unor asemenea imperative, și oricît de mare ar fi puterea lor constrîngătoare în epoca în care își exercită hegemonia, ele au totuși o natură istorică, trecătoare.

---

[7] Referindu-se la idealul mecanicist cartezian, Blaga observă că el „obţine o nuanţă etică şi în calitatea aceasta seamănă cu acele idei care cer înfăptuirea în viaţa practică şi socială. Modificarea a fost de-o importanţă imensă în evoluţia ştiinţei ... Timp de cîteva secole, cercetările ştiinţifice s-au făcut în lumina imperativului cartezian." (L. Blaga /1/, pag. 47—48.) În-

Observăm că nu numai sensul și noutatea situărilor lui Koyré, dar și ale altor reputați filosofi și istorici ai științei din generații mai recente, care urmează calea deschisă de acesta, capătă contururi mai clare prin raportarea la această schiță sumară. Voi aminti, în puține cuvinte, cu referire la autori reprezentativi, cîteva din marile teme ale acestei noi orientări filosofice și istoriografice.

St. Toulmin introduce conceptul *ideal de ordine naturală* pentru a desemna reprezentări standard ale naturii, împărtășite în comun de grupul de cercetători ce lucrează într-un anumit domeniu. Aceste reprezentări constituie modele de inteligibilitate, care funcționează ca moduri de a privi și structura situațiile ce survin în natură, și determină ceea ce omul de știință consideră drept *natural*, de la sine înțeles, și ceea ce el crede că necesită o explicație. Conceptele și teoriile științei exacte nu decurg pur și simplu din fapte, ci dintr-un anumit mod de a considera faptele, în lumina unor idealuri de ordine naturală ce se pot schimba. (Vezi St. Toulmin /1/, pag. 117.) Adesea cînd se reproșează unor cercetători din epoci trecute nesocotirea unor fapte sau incapacitatea lor de a-și adapta ideile faptelor, istoricul conștient de împrejurarea că gîndirea teoretică este întotdeauna condiționată de un anume fel de a privi și de a interoga natura, de a considera faptele, se va întreba dacă faptele sînt aceleași pentru cercetătorii din alte epoci și pentru cei de astăzi. Cînd se spune că omul de știință trebuie să fie liber de idei preconcepute se are în vedere că el trebuie să se străduiască să pună întrebări cît mai clare naturii și să accepte răspunsurile ei, indiferent dacă acestea sînt sau nu în acord cu preferințele și așteptă-

---

tr-un alt pasaj, Blaga sublinia că *imperativele explicative* și nu *teoriile explicative* conferă caracteristica distinctivă unei epoci științifice. „Știința e un complex de idei care, într-un moment dat, au diferite funcțiuni ; una dintre aceste funcțiuni e cea imperativă sau determinantă, căreia tot alte idei îi pot servi de conținut. Element *necesar* al științei e această atitudine determinantă a spiritului omenesc față de lume, dar nu *anumite* idei, care formează cuprinsul atitudinii ; acestea din urmă pot fi totdeauna și altele." (L. Blaga /1/, pag. 82.)

rile sale. „Dar nu acesta este punctul în care acţionează idealurile noastre de ordine naturală. Ele intervin mult mai devreme. Căci dacă este adevărat că trebuie să lăsăm pe seama naturii cum să răspundă la întrebările noastre, în schimb noi sîntem aceia care punem întrebarea. Şi ce întrebări punem depinde în mod inevitabil de evaluări teoretice anterioare.“ (St. Toulmin /1/, pag. 120.) Natura problemelor ştiinţifice ale unui grup de cercetători nu poate fi înţeleasă decît în lumina „obiectivelor lor intelectuale“, a „ambiţiilor lor explicative“, determinate în primul rînd de anumite idealuri de ordine naturală. Conceptele, teoriile şi metodele specifice ale unei discipline sînt elaborate întotdeauna cu intenţia, conştientă sau inconştientă, mărturisită sau nemărturisită, de a asigura o mai bună realizare a acestor idealuri. Numai străduindu-se să scoată la iveală şi să analizeze asemenea imperative poate spera istoricul ştiinţei să înţeleagă criteriile după care judecă cercetătorii unei anumite epoci ipotezele şi inovaţiile conceptuale legitime, disting şi ierarhizează problemele ştiinţifice. O schimbare a obiectivelor explicative ce orientează o disciplină ştiinţifică va atrage după sine o prefacere profundă a naturii problemelor ei. Asemenea obiective se schimbă, totuşi, mult mai încet şi mai gradual decît conceptele şi teoriile specifice ale unei discipline, asigurînd unitatea ei pe perioade istorice mai îndelungate. (Vezi St. Toulmin /2/, pag. 151—152.) Idealurile explicative ale ştiinţei sînt sub controlul experienţei numai într-un sens foarte larg, tolerant al termenului fiindcă „nu pot fi confruntate direct cu rezultatele observaţiei şi experimentului. Ele trebuie să-şi dovedească valoarea pe o perioadă mai lungă şi modul cum o fac cere o analiză mai atentă. Deşi se schimbă de-a lungul timpului, ele sînt pentru omul de ştiinţă individual noţiuni 'preconcepute', gîndite în prealabil şi aplicate ulterior la probleme ştiinţifice determinate“. (St. Toulmin /1/, pag. 119.)

Puncte de vedere asemănătoare privitoare la „condiţionarea filosofică“ a gîndirii ştiinţifice sînt susţinute de doi din cei mai reputaţi istorici contemporani ai ştiinţelor fizice, G. Holton şi Th. S. Kuhn. Inspiraţi de concepţia şi opera istorică a lui Koyré, ei denunţă viziunea curentă asupra neutralităţii filosofice a ştiinţei ce domină istoriografia tradiţională. Holton atrage atenţia asupra rolului esenţial pe care-l au în orientarea gîndirii ştiinţifice a indivizilor şi a grupurilor de cercetători, a şcolilor ştiinţifice, anumite reprezentări sau idei generale, pe care le numeşte *motive tematice* (*themata*). Grupate adeseori în cupluri (continuitate-discontinuitate, reducţionism-holism, ierarhie-unitate etc.), aceste motive exercită o influenţă considerabilă asupra elaborării proiectelor ştiinţifice şi a constituirii problemelor ştiinţifice, asupra evaluării capacităţii explicative a conceptelor şi a ipotezelor teoretice. Considerînd ştiinţa exactă ca un plan ale cărui dimensiuni x, y sînt constituite din conţinutul empiric (faptele, fenomenele repetabile) şi din cel analitic (limbajul şi inferenţele matematice), motivele tematice ar putea fi prezentate ca o dimensiune ortogonală faţă de planul x-y, ca o axă z ce se înalţă din el. (Vezi G. Holton /4/, pag. 8—9.) Această dimensiune nu apare de obicei în mod explicit în demersurile curente ale ştiinţei exacte, care forţează consensul tuturor cercetătorilor competenţi. Pentru descoperirea ei, istoricul va trebui să urmărească, în primul rînd, nu publicaţiile destinate specialiştilor, ci mărturiile autobiografice, corespondenţa, luările de poziţie în conversaţii particulare, caietele de însemnări, răspunsuri la întrebări în interviuri conduse de istorici calificaţi ai ştiinţei, precum şi scrierile adresate unui public mai larg. Holton crede că numai ataşamentul profund al marilor creatori faţă de anumite motive tematice poate explica sursele energiei şi perseverenţei lor neobişnuite în urmărirea unui proiect ştiinţific, în ciuda izolării, a unor indicaţii tehnice nefavorabile şi a eşecurilor temporare. „Aşa cum este învăţat orice începător, cimitirul ştiinţei este plin de cei ce nu au practicat o *suspendare a credinţei (suspension of belief)* în perioada în care datele se adunau. Dar există cealaltă faţă a medaliei, o strategie fără de care munca asupra unei idei noi nu va depăşi primele obstacole, a căror natură exactă va putea fi identificată în amănunt abia mai tîrziu. Pentru a înţelege această latură a comportării cercetătorului, am introdus noţiunea *suspendarea lipsei de credinţă (suspension of disbelief)*, adică capacitatea de a ţine în suspensie, în prima perioadă a construcţiei şi confirmării teoriei, evaluări finale cu privire la validitatea falsificărilor aparente ale unei ipoteze promiţătoare." (G. Holton /4/, pag. 71.) Istoricul american subliniază că motivele tematice ale cercetării nu sînt nici verificabile, nici falsificabile. Este firesc, prin urmare, ca ele să nu apară în prezentarea publică a rezultatelor cercetării, în discuțiile din revistele de specialitate și să nu poată fi găsite în indicele de materii al manualelor științifice. Tocmai limitarea comunicării și discuției științifice curente la datele testabile ce intră în conținutul tehnic al fiecărei discipline este unul din factorii care au favorizat progresul rapid al cercetării. Considerarea acestor motive este totuși indispensabilă pentru constituirea unei imagini mai complexe și mai adecvate asupra dezvoltării istorice a gîndirii științifice căci, după aprecierea lui Holton, ele sînt „în nucleul multor schimbări și dispute științifice“ ; dezvoltarea, domnia și decăderea lor, pot fi socotite „cei mai neglijați factori ai celor mai semnificative dezvoltări în istoria științei“. (Vezi G. Holton /1/, pag. 265.)

Chiar dacă elementul cel mai original al concepției lui Kuhn asupra dezvoltării științelor fizice se concentrează în jurul conceptului de paradigmă în sensul lui special, restrictiv, care desemnează „realizări științifice universal recunoscute, care, pentru o perioadă, oferă probleme și soluții model unei comunități de practicieni“ (vezi Th. S. Kuhn /1/, pag. 39), această concepție reprezintă, în ansamblul ei, o afirmare viguroasă a rolului cadrelor filosofice în evoluția istorică a cunoașterii pozitive. „Cercetarea efectivă — scrie Kuhn — începe rareori înainte ca o comunitate științifică să fie convinsă că deține răspunsuri ferme la asemenea întrebări : Care sînt constituentele fundamentale care alcătuiesc universul ? Cum interacționează ele cu fiecare în parte și cu simțurile ? Ce întrebări pot fi legitim puse relativ la asemenea entități și ce tehnici pot fi folosite în căutarea răspunsurilor ? Cel puțin în științele mature, răspunsurile (sau înlocuitori deplini ai răspunsurilor) la întrebări ca acestea sînt adînc înrădăcinate în inițierea care îl pregătește și îl autorizează pe student să-și practice profesiunea.“ (Th. S. Kuhn /1/, pag. 48.) Este adevărat că pe parcursul educației științifice asemenea întrebări nu sînt formulate ca atare și nici nu primesc răspunsuri explicite ; cunoașterea tacită cuprinsă în realizări științifice exemplare conține, însă, într-o manieră implicită, indicațiile necesare pentru orientarea practicianului științei. Indiferent însă de felul cum sînt însușite și transmise aceste „paradigme metafizice“ sau

„părţi metafizice ale paradigmelor“ (vezi Th. S. Kuhn /1/, pag. 229), ele vor determina, într-o măsură importantă, natura problemelor asupra cărora se concentrează un grup ştiinţific şi criteriile pe baza cărora sînt judecate soluţiile propuse pentru aceste probleme. Schimbarea lor echivalează cu o modificare profundă a exigenţelor după care se orientează în mod spontan specialiştii în evaluarea problemelor, conceptelor şi explicaţiilor ştiinţifice admisibile, precum şi a excelenţei lor.

Punctul de vedere că orientările şi judecăţile omului de ştiinţă exactă sînt conduse, în probleme de interes principal, de reprezentări latente asupra naturii şi asupra unor exigenţe minime ale cunoaşterii ştiinţifice a căpătat o mare răspîndire în rîndul istoricilor ştiinţei din noua generaţie, cu interese filosofice mai pronunţate. El este, de exemplu, larg elaborat într-o lucrare programatică recentă a unuia dintre cei mai reprezentativi membri ai acestei generaţii, L. Laudan. Laudan desemnează sistemul mai mult sau mai puţin articulat al acestor reprezentări prin termenul *tradiţie de cercetare*, căruia îi dă următoarea definiţie preliminară : „o tradiţie de cercetare este o mulţime de supoziţii generale despre entităţile şi procesele într-un domeniu de studiu şi despre metodele adecvate care trebuie să fie utilizate pentru cercetarea problemelor şi construcţia teoriilor în acest domeniu“. (Vezi L. Laudan /2/, pag. 81.) [8] O teorie ştiinţifică specifică trebuie să explice faptele domeniului în termenii „ontologiei“ tradiţiei de cercetare şi în acord cu normele ei metodologice fundamentale. Tradiţiile de cercetare au în general un rol constringător în măsura în care impun anumite condiţii restrictive conceptelor şi teoriilor ştiinţifice care pot fi dezvoltate în cadrele lor [9]. Ele au, totodată, un rol euristic eminent, sugerînd formularea unor noi concepte și teorii științifice, precum și transformarea teoriilor existente, în așa fel încît capacitatea lor de rezolvare a problemelor să fie sporită. În sfîrșit, ele întemeiază și justifică adoptarea unor noi concepte și teorii științifice. În general, o teorie nu poate fi separată de o tradiție de cercetare, în afară de cazul în care a putut fi absorbită în cadrul unei noi tradiții de cercetare, consacrată prin succesele ei deosebite. În opoziție cu teoriile științifice, tradițiile de cercetare nu au funcții explicative și predictive și nu sînt testabile. Atît nivelul de generalitate al elementelor lor constitutive cît și caracterul normativ al multora dintre acestea fac ca din ele să nu poată fi deduse consecințe bine determinate, testabile. Succesul unei tradiții de cercetare, capacitatea teoriilor ce se dezvoltă în cadrul ei de a asigura soluționarea unui număr tot mai mare de probleme conceptuale și empirice ale disciplinei, nu înseamnă o „confirmare" a acestei tradiții, după cum eventualul ei insucces nu este echivalent cu o „infirmare". (Vezi L. Laudan /2/, pag. 81—82.) Este firesc ca tradițiile de cercetare să aibă o persistență mai mare decît teoriile specifice și să asigure cadre unitare pentru dezvoltarea unui domeniu de cercetare pe o perioadă mai lungă de timp. Istoria științei exacte trebuie să înregistreze și să explice atît schimbările care au loc pe planul conceptelor și teoriilor specifice, cît și pe cel al tradițiilor de cercetare.

---

[8] Autorul remarcă că dacă este important „să se distingă între conceptele ontologice şi metodologice ale unei tradiţii de cercetare, cele două sînt adesea intim conectate, dintr-un motiv foarte firesc : anume, că punctele de vedere ale cuiva asupra *metodelor* adecvate ale cercetării sînt în general compatibile cu punctele lui de vedere asupra *obiectelor* cercetării.“ (L. Laudan /2/, pag. 80.)

[9] „Dacă ontologia tradiţiei de cercetare neagă existenţa forţelor acţionînd la distanţă, atunci ea exclude în mod clar, ca inacceptabilă, orice teorie specifică care se întemeiază pe acţiunea la distanţă. Tocmai acesta a fost motivul pentru care 'cartezienii', ca Huyghens şi Leibniz, au considerat teoria mecanicii cereşti a lui Newton drept atît de inutilă... Există, de

Rolul pe care îl au anumite cadre conceptuale generale ale gîndirii în explicarea stabilității unor mari tradiții de cercetare științifică, precum și procesul revoluționar de tranziție de la o tradiție științifică la alta, ca proces de dislocare și restructurare a acestor cadre, au fost puse în evidență pe baza unor studii istorice minuțioase. Obiectul favorit al cercetărilor istoriografice de acest tip a fost marea revoluție științifică din secolul

---

asemenea, multe situații în care *metodologia* unei tradiții de cercetare exclude anumite tipuri de teorii. De exemplu, orice tradiție de cercetare care are o metodologie strict inductivistă și observaționalistă va considera drept inadmisibile teorii 'specifice' care postulează entități ce nu pot fi observate. Mare parte din opoziția față de teorii bazate pe fluide subtile în secolul al XVIII-lea și față de teorii atomiste în secolul al XIX-lea a fost datorată faptului că metodologia dominantă a epocii contesta buna întemeiere epistemică și științifică a teoriilor care lucrează cu 'entități inobservabile' ". (L. Laudan /2/, pag. 89.)

al XVII-lea (numită uneori, mai ales în literatura de limba engleză, simplu „revoluția științifică“), asociată de obicei cu prologul ei din secolul al XVI-lea, așa-numita „revoluție copernicană“. În afara lucrărilor de pionierat ale lui Koyré, consacrate acestei perioade, se cuvin pomenite o serie de lucrări scrise în ultimele decenii, ca cele ale lui H. Butterfield, L. Blaga /2/, K. Kearney, M. Clavelin. Trăsătura lor comună este că cercetează și prezintă marea revoluție științifică din secolul al XVII-lea în primul rînd ca o prefacere intelectuală, ca o tranziție de la o concepție asupra naturii și științei la o concepție fundamental diferită, într-o exprimare mai dramatică, ca distrugerea cadrului filosofic al gîndirii științifice medievale și înlocuirea lui cu un alt cadru, incompatibil cu primul.

Noutatea acestei perspective asupra revoluției științifice din secolul al XVII-lea nu poate fi bine apreciată decît prin confruntarea cu perspectiva statornicită de istoria tradițională a științei. În marea lor majoritate, istoricii științei de factură tradițională nu neagă că în secolele XVI—XVII a avut loc o revoluție profundă în gîndirea umană[10]. Ei nu o consideră, însă, drept o revoluție în știința naturii, ci ca procesul revoluționar care a dus la nașterea unei științe propriu-zise a naturii[11]. Principalii factori, a căror acțiune a făcut posibil acest proces, au fost, după părerea lor, cucerirea libertății de gîndire, a dreptului de cercetare a naturii fără idei preconcepute, în luptă împotriva dogmatismului filosofic și a autoritarismului teologic, dezvoltarea instrumentelor de măsurare, redescoperirea și dezvoltarea matematicii grecești, precum și aplicarea, pentru prima dată, pe scară largă a instrumentului matematic în științele naturii. (Pentru o formulare standard a acestui punct de vedere, care rămas foarte popular, vezi, de exemplu, J. T. Davies, pag. 35 și urm.)[12] Mari personalități științifice creatoare ale secolului nostru, ca Einstein și von Laue, au scris istorii ale fizicii care sînt tributare acestei concepții. Astfel, în introducerea *Istoriei fizicii*, Laue caracterizează schimbarea care a avut loc în secolul al XVII-lea subliniind contrastul dintre cercetarea bazată „pe metode speculative și pe tradiție", care a dominat nestingherită pînă atunci, și tendința nouă de a întemeia studiul naturii „pe observație și, mai mult, pe experimente concepute și efectuate după un plan determinat". (Vezi M. von Laue /2/, pag. 10.) Deosebirea esențială dintre creatorii științei moderne, pe de o parte, Aristotel și oamenii de știință aristotelici pînă în secolul al XVII-lea, pe de altă parte, este că cei dintîi au fost pentru prima dată capabili să examineze faptele în mod lucid, metodic, fără nici un fel de idei preconcepute. Așa se face că ei au putut formula pentru prima dată răspunsuri corecte la întrebări care au primit pînă atunci soluții ce îi apar drept evident eronate oricărui om care pornește de la fapte și este capabil de judecată critică. În a sa *Evoluție a fizicii*, Einstein sugerează că Aristotel și Galilei ar fi gîndit asupra acelorași probleme de mecanică, formulate în aceiași termeni, ajungînd însă, datorită metodei lor diferite de gîndire („speculativă" și respectiv „științifică"), la răspunsuri fundamental deosebite[13]. Din această perspectivă fizica lui Aristotel și fizica lui Galilei și Newton sînt opuse ca lumina și întunericul. Nu ne mai mirăm că citind la bătrînețe texte ale lui Aristotel, Einstein îi scria lui M. Solovine că nu a găsit în ele nimic rațional și aprecia că dacă aceste scrieri nu ar fi fost „atît de obscure și confuze“ influența lor nu s-ar fi putut menține un timp atît de îndelungat (? !). (Vezi A. Einstein /10/, pag. 91.)

---

[10] O excepție notabilă este concepția lui P. Duhem. Descoperind și cercetînd tradiția mecanică din secolul al XIV-lea, pe care a caracterizat-o ca pe o prefigurare a mecanicii lui Galilei și Newton, Duhem a ajuns la concluzia, criticată de aproape toți istoricii de după el, că mecanica s-a dezvoltat relativ continuu și progresiv de la greci și pînă în zilele sale.

[11] Prin urmare, știința rațională, singura care face posibilă, prin metodele ei, înțelegerea corectă a fenomenelor naturii și, prin aplicarea ei, controlul lor, este o creație a secolelor XVII și XVIII ... Deși de atunci au avut loc schimbări profunde în gîndirea științifică și deși creșterea în complexitate, atît în teorie cît și în practica experimentală, a fost extraordinară, procesele, tacticile și formele prin care se dezvoltă știința modernă nu s-au schimbat. Oricît de mari au fost revizuirile care s-au impus ideilor de materie, timp, spațiu, cauzalitate pe parcursul unei ultime jumătăți de secol, ele au reprezentat, totuși, o revizuire a conținutului și nu a structurii științei.“ (A. R. Hall, pag. XII—XIII.)

---

[12] Interpretarea curentă a faptelor marilor creatori ai științei moderne a fost caracterizată recent de un filosof, care se distanțează de această interpretare, astfel : „...gîndirea asupra naturii lumii înainte de Galilei a fost înrădăcinată fie în superstiție oarbă, în acceptarea fără rezerve a autorității, fie în speculație fără temei, care se ascunde sub numele de 'rațiune'. Se pretinde că Galilei, rupînd complet cu trecutul, a inventat o nouă metodă de a obține cunoaștere, metoda *empirică, experimentală* sau *științifică* și folosind-o, fără nici un fel de preconcepții sau prejudecăți, a scos la iveală, din observațiile sale, unele din secretele cele mai adînci ale naturii." (D. Shapere /1/, pag. 3.)

[13] Aristotel și aristotelicii acceptau necritic intuiția familiară, ceea ce i-a condus la ideea falsă că orice mișcare este produsă de o forță exterioară și încetează cînd această forță nu mai acționează. Dimpotrivă, Galilei, descoperind și folosind

Polemizînd cu acest mod de a vedea lucrurile, pe care Koyré îl considera caracteristic pentru istoriografia „pozitivistă“ a științei, noua istoriografie a caracterizat revoluția științifică din secolul al XVII-lea în primul rînd ca o prefacere de ordin filosofic.

Principalele argumente pe care se sprijină această concluzie pot fi formulate, pe scurt, astfel : Creația științifică originală a titanilor fizicii din secolul al XVII-lea nu poate fi înțeleasă fără raportare la convingerile lor filosofice. Ei au creat o nouă concepție asupra naturii și un nou ideal științific (explicativ), pe care Galilei îl exprima concis afirmînd : „Cartea naturii este scrisă în caractere geometrice“ [14]. Faptul că noțiunile și legile științei teoretice sînt în contradicție cu aparențele generate de experiența directă reprezintă o consecință firească a distincției dintre realitatea sensibilă și obiectul științei teoretice. Adaptarea gîndirii teoretice faptelor nu înseamnă adaptarea ei la experiența brută. Este ușor de observat că fizica aristotelică și fizica impetusului din secolul al XIV-lea sînt mult mai apropiate de experiența comună decît mecanica secolului al XVII-lea [15]. Fizica a

---

„raționamentul științific“, a ajuns la concluzia corectă că acțiunile exterioare nu sînt cauza mișcării unui mobil ci a schimbării vitezei mișcării lui. (Vezi A. Einstein, L. Infeld, pag. 9—12.)

[14] „El (Galilei — M. F.) pornește de la ideea, fără îndoială, preconcepută, dar care formează fondul filosofiei sale a naturii, că legile naturii sînt legi matematice. *Realul încadrează matematica* ... Natura nu răspunde decît problemelor formulate în limbaj matematic, fiindcă natura este domeniul măsurii și ordinii.“ (Al. Koyré /1/, pag. 156.)

[15] Este ceea ce a observat încă P. Tannery, care scria în 1926 : „Dacă pentru a judeca sistemul dinamic al lui Aristotel facem abstracție de prejudecățile care derivă din educația noastră modernă, dacă încercăm să ne resituăm în starea de spirit pe care o putea avea un gînditor independent la începutul secolului al XVII-lea, este greu să contestăm că acest sistem este mai adecvat decît al nostru observației imediate a faptelor.“ (Citat după Al. Koyré /1/, pag. 206.) În mod independent, Blaga

fost revoluționată, prin urmare, nu pur și simplu prin supunerea ideilor controlului faptelor, ci prin introducerea unui nou concept al științei teoretice, care a revoluționat modul de a considera faptele. Este vorba, în principal, după Koyré, de distrugerea cosmosului finit și ierarhizat al gîndirii antice și medievale, de înlocuirea lui cu universul cu legi uniforme a noii mecanici și de geometrizarea spațiului, de înlocuirea spațiului concret al fizicii pregalileene cu spațiul abstract al geometriei euclidiene. Această schimbare profundă a imaginii naturii și a științei teoretice nu a fost, evident, condiționată de experiență, ci a făcut, dimpotrivă, posibilă o nouă experiență științifică[16]. „Am spus deja că această atitudine intelectuală ne pare a fi rezultatul unei mutații decisive ; este ceea ce explică de ce descoperirea unor lucruri care ne apar astăzi drept copilărești a reclamat mari eforturi, nu întotdeauna încununate de succes, celor mai mari genii ale umanității, unui Galilei, unui Descartes. Pentru că era vorba nu de a combate teorii eronate sau insuficiente, ci de a transforma însuși cadrul inteligenței ; de a răsturna o atitudine intelectuală foarte firească, înlocuind-o cu alta, care nu era așa. Și aceasta explică de ce, în ciuda aparențelor contrare, aparențe de continuitate istorică asupra cărora Caverni și Duhem au insistat întotdeauna, fizica clasică ieșită din gîndirea lui Bruno, Galilei, Descartes nu continuă de fapt fizica medievală a 'precursorilor parizieni ai lui Galilei' ; ea se plasează pe un plan diferit, pe care ne place să-l numim arhimedian. Într-adevăr, precursorul și maestrul fizicii clasice nu este Buridan sau Nicole Oresme, ci Arhimede." (Al. Koyré /1/, pag. 15—16.) Desigur, Arhimede nu este mai mult decît un precursor al științei clasice. După cum subliniază Blaga, însăși concepția despre natură și știință a anticilor ridica stavile de netrecut în calea aplicării pe scară largă a ma-

---

remarca și el că opunerea fizicii aristotelice, ca fizică speculativă, celei galileano-newtoniene „este unilaterală și simplistă. Sub anumite raporturi, fizica lui Aristotel este mai empirică, iar cea a lui Galilei și Newton mai speculativă". (Vezi L. Blaga /2/, pag. 74—75.)

[16] „Revoluția galileană poate fi rezumată în faptul descoperirii acestui limbaj, al descoperirii că matematicile sînt gramatica științei fizice. Această descoperire a structurii raționale a naturii a format baza *a priori* a științei *experimentale* moderne și a făcut posibilă constituirea ei." (Al. Koyré /4/, pag. 211.)

tematicii. „În gîndirea greacă se acordă în general o demnitate superioară staticului față de dinamic, iar esența realității este socotită ca fiind mai curînd de natură imuabilă decît mișcătoare." (L. Blaga /2/, pag. 82—83.) Și mai departe: „Pentru spiritul grec se declară astfel o incompatibilitate între 'mișcare' (existență inferioară) și 'matematică', cunoaștere superioară. Astfel, nu e decît prea firesc că în antichitate să-și fi făcut drum o concepție ce nu era deloc prielnică unei eventuale cercetări a mișcării din perspectivă matematică". (L. Blaga /2/, pag. 84.) Numai prin eliberarea de această viziune filosofică a putut fi deschisă calea științei matematice a naturii. Este o iluzie istorică, ceea ce M. Clavelin numește „iluzie retrospectivă", să considerăm o lege fizică, cum este legea căderii corpurilor, ca o relație simplă. Ea nu este simplă decît în interiorul unui sistem de presupoziții, adică o dată ce ne-am însușit anumite idei asupra spațiului, timpului și mișcării, pe care nu le impune, pur și simplu, observația metodică a fenomenelor naturii. Opera științifică a lui Galilei nu s-a ciocnit de aceea numai de adversitatea teologilor și a tradiționaliștilor fanatici, ci și de neînțelegerea unor cercetători competenți și de bună credință, dispuși să asculte de argumente, care rămîneau însă prizonieri ai vechilor cadre de gîndire. Pentru un fizician din vechea tradiție, descrierea matematică dată de Galilei modului cum cade o piatră în vid, o descriere care nu cuprinde un răspuns la întrebarea de ce cade piatra, nu putea fi considerată drept o adevărată explicație. Efortul pedagogic pe care îl desfășoară Galilei în *Dialogurile* sale, reluarea continuă a acelorași argumente, observă Koyré, poate apărea nemotivată și obositoare doar pentru cititorul care este deja familiarizat cu conceptul de mișcare al fizicii clasice. (Vezi Al. Koyré /1/, pag. 234.)

Ipoteza că noua știință a naturii din secolul al XVII-lea este, în esență, rezultatul unei schimbări profunde de perspectivă filosofică poate explica un fapt relevat de o examinare atentă a surselor istorice primare, și anume, caracterul treptat al eliberării minților eroilor ei, oameni cu o personalitate și independență de gîndire excepționale, de vechile reprezentări. Galilei, bunăoară, nu a putut să meargă pînă la capăt pe drumul de la cosmosul ordonat și finit al științei medievale la universul infinit al științei clasice. În lucrările lui nu pot fi găsite formulările moderne ale principiului inerției și conservării energiei. Acest fapt rămîne greu de explicat atît timp cît considerăm că schimbarea de atitudine ce ar caracteriza, în mod esențial, revoluția științifică a secolului al XVII-lea ar fi supunerea ideilor controlului faptelor. Căci s-ar părea că Galilei ar fi aplicat în unele cazuri acest percept, iar în altele l-ar fi nesocotit ; limitele gîndirii sale științifice ar exprima, în acest caz, în primul rînd slăbiciuni și inconsecvențe personale. Dimpotrivă, dacă admitem că știința clasică a devenit posibilă datorită unei schimbări profunde de perspectivă filosofică, este cu totul firesc că aceasta nu a putut fi realizată decît pe parcursul cîtorva generații și nu a putut fi desăvîrșită în mintea unui singur om, oricît ar fi fost el de genial. Studiile galileene mai recente sînt în general de acord să lege limitele gîndirii științifice a lui Galilei, caracterul prenewtonian al unora din conceptele mecanicii sale, de concepția lui asupra caracterului ordonat al universului. Potrivit acestei concepții, doar mișcarea circulară, atribuită planetelor, și mișcarea părților spre tot, care explică căderea corpurilor pe pămînt, sînt *mișcări naturale*. Acestor mișcări Galilei le acordă o poziție privilegiată. Se recunoaște că această „filosofie“ a blocat, în cele din urmă, calea lui Galilei spre formularea principiului inerției și a conservării mișcării, precum și spre o interpretare mecanică a mișcării planetelor [17]. Or, această recunoaștere nu creează nici o dificultate în noua perspectivă istoriografică. Căci dacă concepția lui Galilei asupra naturii și științei este privită ca un moment de tranziție de la universul tradițional la cel al gîndirii moderne, este firesc ca această situare să explice atît realizările lui științifice revoluționare, cît și limitele acestor realizări. „Mai bine decît oricine, Galilei ne permite să vedem în ce măsură știința modernă, departe de a fi negarea filosofiei, se sprijină în principal pe anumite demersuri propriu-zis filosofice.“ (M. Clavelin, pag. 465.)

În general, în conștiința istoriografică contemporană este vizibilă evoluția spre o recunoaștere tot mai largă a rolului pe care îl au idei filosofice, de natură ontologică şi epistemologică, de cele mai multe ori tacite sau doar parţial explicitate, în determinarea obiectivelor cercetării şi în orientarea judecăţii cercetătorilor. Tendinţa este tot mai pronunţată şi în istoriografia ştiinţei inspirată şi condusă de principiile materialismului dialectic, fiind favorizată de orientarea ei antiempiristă şi antipozitivistă, de interesul caracteristic acestei tradiţii istoriografice pentru punerea în evidenţă a determinărilor istorice ale gîndirii ştiinţifice. Fără a se contesta că există criterii sau standarde critice cu valoare universală, care orientează judecata cercetătorilor, se relevă, totodată, că acestea sînt aplicate în raport cu idealuri teoretice care pot să difere nu numai de la o disciplină la alta şi de la o epocă la alta, ci chiar să divizeze un anumit grup ştiinţific disciplinar. Concepte ca „stil de gîndire ştiinţifică“ şi „tip de gîndire ştiinţifică“, „ştiinţă clasică“ şi „ştiinţă neclasică“ (vezi, de exemplu, B. G. Kuznețov /1/ şi /2/, L. Sofonea) orientează cercetarea istorică spre relevarea încărcăturii filosofice specifice a criteriilor de ştiinţificitate. Se subliniază că recunoscînd standarde generale de evaluare comparativă a teoriilor, ca numărul şi însemnătatea predicţiilor despre fapte noi, reducerea conceptelor de bază ale teoriei, eleganţa, rigoarea matematică, precum şi puterea de cuprindere a teoriei, cercetătorii le pot înţelege şi aplica în mod foarte diferit, în funcţie de reprezentări specifice asupra idealurilor explicative pe care sînt ţinute să le satisfacă construcţiile teoretice, idealuri care sînt în strînsă dependenţă de opţiuni filosofice personale sau de grup. Tot mai mulţi istorici ai ştiinţei încep să-şi dea seama că dacă explicarea deciziilor cercetătorilor şi grupurilor ştiinţifice prin raportare la criterii metateoretice anistorice, invariabile în trecerea de la o disciplină la alta şi de la o epocă la alta în dezvoltarea ştiinţei exacte, este comodă şi convingătoare din punct de vedere pedagogic, ea poate să fie, în schimb, lipsită de orice valoare istorică. De exemplu, abandonarea explicării fenomenelor calorice printr-un fluid special şi adoptarea teoriei mecanice a căldurii de către comunitatea fizicienilor, în a doua jumătate a secolului trecut, poate fi explicată, desigur, prin faptul că ultima dintre aceste teorii operează cu un număr mai mic de concepte independente şi introduce supoziţii mai precise, care pot fi mai bine controlate de experienţă. Este însă îndoielnic că o asemenea explicație poate fi considerată satisfăcătoare din punct de vedere istoric, în măsura în care ea neglijează, de exemplu, rolul pe care a putut să-l aibă în preferința acordată teoriei mecanice a căldurii acordul ei cu modelul mecanicist al explicației științifice, care se impusese deja în comunitatea naturaliștilor vremii.

---

[17] Chiar și autori ai unor cercetări mai recente asupra lui Galilei, care nu sînt prea favorabili noii tendințe istoriografice, admit că viziunea lui asupra ordinii universului este încă solidară cu concepția tradițională.

De îndată ce istoricul științei nu mai respinge din capul locului presupuneri de acest fel pe temeiul aderenței la o reprezentare rigidă, tradițională asupra raționalității științifice, bazată pe ideea caracterului monolitic și imuabil al metodei cunoașterii științifice, este foarte probabil că va găsi în curînd fapte care le susțin. Mă limitez, aici, doar la o sumară ilustrare a rolului pe care l-au avut convingeri „subiective“ în orientarea muncii creatorilor teoriei cinetice a gazelor. Se relatează, că atunci cînd Maxwell a scris prima sa lucrare consacrată teoriei cinetice a gazelor, el știa că două din consecințele teoriei erau în conflict cu fapte experimentale cunoscute. În primul rînd, potrivit teoriei lui Maxwell, vîscozitatea gazelor este independentă de densitate și crește proporțional cu temperatura, dar datele experimentale arătau că, dimpotrivă, vîscozitatea variază cu densitatea. În al doilea rînd, teoria cinetică era incompatibilă cu date experimentale acceptate despre căldura specifică a corpurilor. În 1860, Maxwell recunoștea că aceste fapte sînt în contradicție cu teoria sa. Aceasta nu l-a determinat însă să renunțe la teorie, așa cum recomandă canoanele metodologice generale, pe care oamenii de știință nu uită să le menționeze cu orice ocazie și să le exalte în discursul lor asupra patosului cercetării. Continuîndu-și investigațiile, Maxwell a reușit, pînă la urmă, să răstoarne datele experimentale care îi contraziceau teoria. Nu experimentul a infirmat deci teoria, ci cercetări conduse în lumina principiilor teoriei au eliminat sau corectat fapte experimentale care păreau să o infirme. Maxwell a obținut un succes științific remarcabil încălcînd în mod formal un principiu general recunoscut și insistent subliniat al metodei cunoașterii științifice [18]. Strategia lui nu a fost criticată de colegi, deși încalcă comandamente metodologice abstracte, pur și simplu fiindcă a avut succes. Fără îndoială că dacă tentativele lui Maxwell de a elimina discrepanțele dintre experiment și teorie ar fi eșuat, ele ar fi amintite ca o ilustrare a urmărilor păgubitoare ale încălcării unor reguli și valori metodologice universal recunoscute. Iată și comentariul semnificativ al istoricului care prezintă și discută acest episod : „...el (Maxwell — M. F.) nu a abandonat o teorie, dealtfel plauzibilă și cu succes, pur și simplu fiindcă nu reușise să dea socoteală de *toate* datele experimentale. Acei oameni de știință care au sugerat abandonarea teoriei, la sfîrșitul secolului al XIX-lea, nu au făcut-o din cauza acestor dificultăți, ci datorită unor obiecții filosofice mai profunde.“ (St. G. Brush /2/, pag. 1170.)

---

[18] În terminologia unui filosof contemporan, Maxwell a procedat *contrainductiv*. (Vezi K. P. Feyerabend.)

Locul tot mai mare pe care îl acordă mulți istorici ai științei exacte „filosofiei“ cercetătorilor activi în explicarea comportării și deciziilor lor științifice amenință să confere noii istoriografii o funcție „subversivă“, de subminare a imaginii curente asupra obiectivității cunoașterii științifice, pe care o întrețin și o propagă atît educația științifică, cît și lucrările de popularizare a științei [19]. Nu este de mirare că această orientare istoriografică a generat reacții vehemente atît din partea teoreticienilor metodei cunoașterii științifice, atașați ferm unei distincții rigide dintre contextul descoperirii și contextul justificării [20], cît și din partea unor istorici ai științei de orientare mai tradițională. Pentru tensiunile pe care le generează dificultățile de armonizare a reprezentării standard asupra obiectivității și raționalității cunoașterii științifice, consacrată de reconstrucțiile filosofice ale metodei cunoașterii științifice, cu datele și concluziile noilor cercetări istorice, este semnificativ și punctul de vedere formulat în lucrări mai recente ale lui Popper. Cunoscutul filosof recunoaște existența unor cadre generale ale gîndirii științifice pe care le numește *programe metafizice de cercetare.* Este vorba îndeosebi de idei cosmologice generale, netestabile, și în acest sens filosofice, idei care influențează constituirea idealului explicativ al cercetătorilor, formularea problemelor științifice și direcția în care este căutată soluția acestor probleme [21]. Atomismul, dinamismul, ideea cîmpurilor și a continuului sînt considerate de Popper drept asemenea programe de cercetare. Pe de o parte, remarcă Popper, cercetătorul urmează în general inconștient orientările ce rezultă din adoptarea unui anumit program metafizic de cercetare. El nu își dă seama, de cele mai multe ori, că a lucrat în cadrul unui anumit program de cercetare decît atunci cînd îl abandonează în favoarea unui alt program care i se pare mai promițător. Pe de altă parte, Popper insistă asupra necesității unei atitudini critice față de presupozițiile metafizice ale diferitelor programe de cercetare [22]. Dar el nu ne spune nimic despre condițiile în care este posibilă detașarea critică a cercetătorului față de programele metafizice de cercetare și despre temeiurile criticii la adresa unui program metafizic de cercetare, spre deosebire de temeiurile criticii unei teorii testabile. În fapt, Popper opune un imperativ abstract — atitudinea rațională este atitudinea critică — faptelor istorice care indică că cercetătorul este orientat întotdeauna în activitatea sa, chiar dacă de cele mai multe ori nu în mod conștient, de ceea ce el numește programe metafizice de cercetare și că acesta nu va fi, în general, capabil de raportare critică față de un program în cadrul căruia a lucrat cu succes, obținînd rezultate științifice importante.

---

[19] Pentru dezvoltări vezi St. G. Brush /2/.

[20] Printre cele mai reprezentative sînt considerațiile critice formulate de I. Scheffler și C. R. Kording.

Masa cercetătorilor din științele exacte ignoră, desigur, aceste discuții, care agită îndeosebi lumea istoricilor și filosofilor profesioniști ai științei. În măsura în care află totuși ceva despre ele, cercetătorul de rînd nu vede motive pentru a accepta sugestia că idei de natură filosofică, pe care le apreciază ca fiind iremediabil subiective, ar putea să aibă un rol important în structurarea și orientarea gîndirii științifice. O asemenea sugestie îi apare greu de împăcat cu cerința unei atitudini critice, antidogmatice, a cărei promovare statornică este considerată drept condiție de bază a marilor progrese ale cunoașterii pozitive. Nici un argument, cît de plauzibil, adus de oameni care nu practică știința, nu-l poate abate de la acea atitudine sceptică față de idei care nu sînt în mod direct sub controlul experienței, atitudine ce i-a fost inoculată de educația științifică și pe care o vede continuu confirmată de experiențele proprii și ale colegilor săi în activitatea curentă de cercetare. Este de presupus că o reconsiderare a concepției curente asupra obiectivității cunoașterii științifice nu va putea avea loc, în general, decît sub influența unei schimbări de mentalitate în sferele superioare ale comunităților științifice, promovată de cercetători cu prestigiu științific deosebit și cu interese teoretice și metateoretice deosebit de largi [23]. În ultimul timp se poate vorbi de apariția primelor semne ale unei asemenea schimbări de mentalitate. Un efort de depășire a opticii curente este vizibil îndeosebi la unii fizicieni de prim rang, care au reflectat mult asupra învățămintelor ce pot fi desprinse din experiența controverselor, adesea dramatice, ce au marcat în ultimele decenii discuțiile asupra fundamentelor fizicii, cu deosebire asupra interpretării mecanicii cuantice. Așa cum se va vedea, asemenea controverse au fost deschise și susținute de mari personalități științifice creatoare, a căror capacitate profesională și bună credință erau în afara oricărui dubiu, și ele s-au prelungit de-a lungul anilor fără să ducă, de cele mai multe ori, la o cît de mică apropiere a punctelor de vedere. Werner Heisenberg, unul din personajele centrale în aceste înfruntări, a recunoscut adesea că ele nu pot și nu trebuie judecate prin raportare la standardele de obiectivitate ce pot fi aplicate discuțiilor științifice curente. Referindu-se la descrierea stării particulelor elementare în mecanica cuantică, o descriere mult mai abstractă decît descrierea intuitivă a traiectoriilor mișcării electronilor, celebrul fizician german nota: „Această definiție a stării a dus la o schimbare foarte mare în descrierea fenomenelor naturii și mă întreb dacă este justificat să vorbim, în cazul lui Einstein, Planck, von Laue și Schrödinger, care nu păreau gata să accepte această definiție, pur și simplu de prejudecăți. Cuvîntul 'prejudecată' este în acest context prea negativ și nu este adecvat pentru descrierea situației". (W. Heisenberg /10/, pag. 270.) Un eminent specialist contemporan, Günther Ludwig, constatînd că discuțiile asupra interpretării mecanicii cuantice contravin imaginii consacrate asupra condiției unei discuții științifice, ajunge la concluzia că în discuțiile asupra fundamentelor unei discipline științifice, spre deosebire de discuțiile științifice curente, participanții pot să fie despărțiți de anumite decizii prealabile *(Vorentscheidungen)*, care nu mai sînt obiect de examinare și evaluare critică în lumina unor criterii neutre. Un punct de vedere, rareori formulat clar și explicit, asupra a ceea ce este o teorie fizică, asupra atributelor ei definitorii, reprezintă o asemenea decizie prealabilă. Nu există argumente constrîngătoare care să forțeze acceptarea ei. (Vezi G. Ludwig /2/, pag. 288—289.) În sfîrșit, Bernard d'Espagnat, unul din cercetătorii activi din generația de azi, care ilustrează tradiția fizicianului teoretician cu un larg orizont filosofic, vital interesat în clarificarea semnificațiilor conceptuale ale noilor evoluții științifice, observa într-o scrisoare adresată în 1970 participanților la un colocviu de vară asupra fundamentelor fizicii cuantice, care a avut loc la Varenna: „Ca și oracolul de la Delphi, fizica teoretică se sprijină pe trei coloane — experiment, matematică și o mulțime de idei generale pe baza cărora se poate lucra. Unii ar dori să îndepărtăm această a treia coloană. Ei speră să sporească, în acest fel, stabilitatea întregii construcții, dar noi, care ne vom strînge la Varenna, știm fără îndoială că ei greșesc!" (B. d'Espagnat /2/, pag. XIII.)

---

[21] „Numesc aceste programe de cercetare metafizice fiindcă ele decurg din puncte de vedere generale asupra structurii lumii și, în același timp, din puncte de vedere asupra situației problematice în cosmologia fizică. Le numesc 'programe de cercetare' fiindcă ele încorporează, împreună cu un punct de vedere asupra problemelor care sînt cele mai presante, o idee generală asupra modului cum arată o soluție a acestor probleme. Ele pot fi descrise ca *fizică speculativă* sau, poate, ca anticipări speculative ale unor teorii fizice testabile." (K. R. Popper /7/, pag. 161—162.)

[22] „Într-adevăr, nu este nevoie să se glorifice meritele programelor de cercetare... Este, ca regulă, mult mai multă nevoie de a se încuraja oamenii să le critice și să iasă din cadrele programelor de cercetare, decît să-i încurajăm să adopte un program de cercetare și să adere la el..." (K. P. Popper /7/, pag. 32—33.)

---

[23] Cum remarca odată M. Bunge, „fizicienii îi ascultă numai pe fizicieni, cîteodată numai pe colegii lor, și rareori pe filosofi, chiar și în chestiuni filosofice".

Această carte își propune să prezinte și să analizeze sistematic unele episoade din istoria dezvoltării gîndirii fizice, care sînt de natură să pună în lumină experiențele pe care se sprijină asemenea reflecții, să schițeze, pornind de la analize istorice, un punct de vedere asupra bazei sau substanței filosofice imanente a gîndirii omului de știință exactă și să formuleze unele concluzii cu privire la justificarea și la limitele valabilității concepției curente asupra obiectivității cunoașterii științifice. Ar mai fi de observat, că studiile istorice ce urmează se concentrează în mod deliberat asupra unei etape mai recente din istoria fizicii teoretice. Importante lucrări istorice apărute în ultima jumătate de secol au scos în evidență rolul ideilor și presupozițiilor filosofice îndeosebi în etape mai timpurii ale dezvoltării gîndirii fizice, în primul rînd cu referire la revoluția științifică din secolele XVI—XVII. Cercetătorul activ, istoricul sau filosoful științei, care ar găsi aceste studii convingătoare, pot totuși să creadă mai departe că o asemenea împletire a elementelor general filosofice și special științifice, tehnice, nu ar mai caracteriza și gîndirea fizică matură, începînd din secolul al XIX-lea. O schimbare de perspectivă filosofică ar fi fost într-adevăr necesară pentru a produce știința exactă, în sensul strict al cuvîntului. O dată ce această schimbare, care a dat naștere metodei științifice[24], s-a produs, cunoașterea pozitivă s-ar dezvolta mai departe după propriile ei criterii, dobîndind o deplină autonomie, nu numai față de concepțiile filosofilor, ci și față de orice idei și supoziții de ordin filosofic. Episoadele istorice pe care le discutăm probează, cred, că acest punct de vedere larg acceptat, oricît ar fi el de plauzibil în lumina experienței curente a cercetării, trebuie, totuși, să fie reconsiderat.

---

[24] Observația că trebuie să facem o distincție clară între procesul îndelungat de geneză a științei exacte și faza ei de maturitate, că orice generalizare asupra științei este bine întemeiată numai dacă consideră această ultimă fază, este formulată adesea într-un mod deosebit de net : „În ciuda acumulării treptate a cunoașterii și a elaborării teoriei, numai extrapolările cele mai largi ale științei secolului al XIX-lea vor fi descrise acum, în mod direct ca 'greșite', chiar dacă o parte mai mare a imaginii ei asupra naturii poate fi descrisă ca 'inadecvată' sau ca 'adevărată în anumite limite' ... Același lucru nu poate fi spus despre știința dinainte de 1500 și, de asemenea, fără restricții, despre știința secolelor XVII și XVIII. Progresul ei, în aceste vremuri mai timpurii, nu a fost prin acumulare, căci a fost necesar, din cînd în cînd, să se înlăture fundamente stînjenitoare, provenite din trecut. O asemenea știință era uneori pur și simplu greșită, atît în ceea ce privește faptele, cît și interpretarea. Enunțurile ei trebuiau să fie respinse *in toto,* nu doar circumscrise, pe baza experimentului și a gîndirii crea-

---

toare. În această privință, începutul secolului al XIX-lea pare un punct util de demarcație între revoluția științifică, în cursul căreia științele și-au cîștigat în mod penibil și cu timpul caracterul lor cumulativ, și perioada recentă, în decursul căreia acest caracter a fost menținut cu succes.“ (A. R. Hall, pag. XIII—XIV.)

PARTEA ÎNTÎI

Direcţia esenţialistă şi direcţia fenomenalistă în fizică; „fizică mecanicistă“, „fizică energetistă“ şi „fizică nouă“

„Mai are oare un sens rațional să opunem conștiinței noastre 'o natură în sine', independentă de aceasta ? Nu sînt mai degrabă toate așa-numitele legi ale naturii, în esența lor, reguli mai mult sau mai puțin convenabile cu ajutorul cărora rezumăm în mod cît mai exact și comod succesiunea temporală a senzațiilor noastre ? Dacă ar fi așa, atunci nu numai simțul comun ci și cercetarea exactă a naturii s-ar găsi dintotdeauna într-o greșeală fundamentală ; căci nu este posibil să tăgăduim că întreaga dezvoltare de pînă acum a cunoașterii fizice tinde, în fapt, spre realizarea unei distincții principiale, împinse cît mai departe, între evenimentele din lumea exterioară și evenimentele din lumea senzorială a omului."

M. PLANCK (1913)

„Nu este ciudat că legi destul de simple pot fi enunțate pentru evoluția temporală a stării unui electron care este, ca să zicem așa, o grupare de senzații de o complexitate fantastică, în timp ce nici o asemenea lege nu poate fi formulată despre evoluția temporală a percepțiilor individuale ele însele ? Nu este aceasta o dovadă *prima faciae* că electronul constituie, în cele din urmă, o entitate mai simplă decît percepția mea vizuală în acest moment ? Aceasta este o confirmare puternică a tezei lui Aristotel că ceea ce este primar în ordinea cunoașterii și ce este primar în ordinea existenței sînt lucruri foarte diferite."

A. SHIMONY (1970)

Dezvoltarea științelor teoretice ale naturii a avut loc, îndeosebi începînd de la mijlocul secolului trecut, într-o atmosferă intelectuală dominată de sentimentul contrastului dintre speculaţia subiectivă şi cunoaşterea cu valoare obiectivă. Un sentiment care era exprimat de obicei spunîndu-se că, după multe rătăciri şi încercări infructuoase de a obţine cunoaştere prin forţele gîndirii pure, s-ar fi înţeles, în cele din urmă, că orice ştiinţă autentică despre lumea reală trebuie să se limiteze strict la enunţuri despre fapte şi corelaţii legice între fapte, enunţuri ce pot fi controlate de către toţi oamenii calificaţi. Expresii ca *ştiinţă exactă, ştiinţă pozitivă, ştiinţă inductivă, metodă inductivă* şi altele din această familie — ce survin la tot pasul în prelegeri inaugurale, discursuri academice, cuvîntări programatice rostite la mari reuniuni ştiinţifice, în prefeţele sau capitolele introductive ale lucrărilor didactice sau în scrierile de popularizare a ştiinţei, — sînt componente standard ale repertoriului lingvistic la care făceau apel în mod obişnuit mulţi mari naturalişti ai epocii pentru a transmite cercetătorului de rînd, fără preocupări metodologice generale, precum şi marelui public convingerea lor profundă privitoare la caracterul exemplar al legilor şi teoriilor formulate în limbajul clar al matematicii şi bine asigurate experimental pentru ideea noastră de cunoaştere obiectivă, la deplina autonomie a cunoaşterii pe care ne-o oferă aceste legi şi teorii în raport cu orice tendinţe, înclinaţii sau preconcepţii de natură filosofică. Fiecare mare succes al fizicii teoretice şi experimentale contribuia la consolidarea unei asemenea stări de spirit sau mentalităţi. S-ar putea spune că ideile filosofice erau asimilate de către conştiinţa ştiinţifică curentă cu partea subiectivă a gîndirii şi situate în raporturi de antiteză directă şi excludere mutuală cu rezultatele şi concluziile cercetărilor ştiinţifice.[1]

---

[1] H. von Helmholtz, de exemplu, nu exprima cîtuşi de puţin un loc comun pentru naturaliştii vremii sale atunci cînd avertiza asupra necesităţii de a distinge între metafizică şi filosofie. „Deoarece limitez aici folosirea numelui metafizică pentru acea pretinsă ştiinţă al cărei ţel este să dobîndească informaţii asupra ultimelor principii ale conexiunii lumii prin gîndire pură, aş dori doar să previn asupra extinderii a ceea ce spun despre metafizică la filosofie în general. Mi se pare că a devenit atît de funestă nu filosofia cît confundarea ei repetată cu metafizica. Ultima a jucat în raport cu prima aproximativ acelaşi rol ca şi astrologia în raport cu astronomia ... Speranţa amăgitoare de a realiza pătrunderea celor mai profunde corelaţii ale lucrurilor şi a esenţei spiritului omenesc, a trecutului şi viitorului lumii, pe o cale scurtă şi fără mare trudă, este cea pe care se sprijină interesul tulburător ce i-a condus pe atît

Din punct de vedere istoric, această reprezentare ne apare ca o continuare firească a tradiției inductiviste care s-a dezvoltat în știința newtoniană a secolului al XVIII-lea. Vigoarea sporită și spiritul ofensiv tot mai accentuat pe care le capătă exprimările curente ale delimitării cunoașterii cu valoare obiectivă de speculația filosofică pot fi însă mai bine înțelese dacă ținem seama de faptul că ele reprezintă, îndeosebi în Germania, și o reacție față de filosofia idealistă a naturii, față de *Naturphilosophie,* și de așa-numita *știință romantică* de la începutul secolului al XIX-lea. Oamenii cu educație științifică — și cu atît mai mult cercetătorii profesioniști ai naturii cu orizont mai larg — priveau acum, după 1850, acest episod aparte pe care-l reprezintă știința romantică în istoria explicațiilor naturii nu numai drept o probă nouă și convingătoare a imposibilității de a dobîndi cunoaștere autentică prin „zborul de Icar al speculației" dar, de multe ori, și ca o mărturie asupra urmărilor păgubitoare pe care le pot avea intervenția activă și inițiativele spiritului filosofic în știință. Starea de dezamăgire și chiar de descurajare pe care au resimțit-o multe minți teoretice după excesele filosofiei speculative a naturii a favorizat, mai ales după revoluția din 1848, o reorientare radicală spre știința pozitivă și spre practică. „Caracteristic pentru noua comunitate științifică germană pe plan filosofic — scrie un istoric contemporan — a fost înlocuirea mai vechii *Naturphilosophie* cu renunțarea la filosofie în general." (Fr. Gregory, pag. 7.)

În ce a constat de fapt această „ruptură" a științelor naturii cu filosofia, despre care vorbesc atît de mulți oameni ai vremii și care atrage pînă astăzi atenția istoricilor ? O ruptură a avut loc într-adevăr dacă avem în vedere distanțarea, insistent subliniată, a reprezentanților științelor naturii de concepția și practica tradițională a filosofiei naturii. Această distanțare este în pri-

---

de mulți în studiul filosofiei, tot așa cum nădejdea de a dobîndi preziceri asupra viitorului a creat odinioară reputația și sprijinul de care s-a bucurat astrologia. Ceea ce filosofia ne poate învăța pînă acum sau ceea ce ne va putea învăța vreodată, prin continuarea studiului faptelor semnificative, este de cel mai mare interes pentru omul de știință care trebuie să învețe să cunoască bine instrumentul cu care lucrează, și anume facultatea umană de cunoaștere, din punctul de vedere al capacității sale productive..." (H. von Helmholtz /5/, pag. 362—363.)

mul rînd o reacție față de pretențiile filosofiei de sistem de a reprezenta o cunoaștere nu numai competitivă, ci chiar superioară în raport cu cea pe care o ofereau științele experimentale ale naturii. Oamenii de știință apreciau acum nu numai ca nelegitimă, ci și ca intolerabilă supoziția că spiritele speculative, care nu sînt înclinate să ia asupra lor rigorile metodei experimentale și cele pe care le implică utilizarea instrumentului matematic[2], ar putea aduce contribuții la o cunoaștere cu valoare obiectivă a naturii, care progresează și rezistă timpului. Nu a avut loc însă o ruptură cu filosofia sub toate aspectele și din toate punctele de vedere[3]. Distanțarea hotărîtă de *Naturphilosophie* și de știința romantică nu a însemnat și epurarea din corpul științelor naturii — care se doreau cît mai „pozitive“ și mai „exacte“, proclamînd prin reprezentanții ei cei mai eminenți principiul supunerii stricte a ipotezelor teoretice controlului „faptelor“ —, a oricăror supoziţii de ordin filosofic. Contrar impresiei dominante în rîndul oamenilor de ştiinţă, cercetarea era orientată şi condusă, îndeosebi în ramurile relativ dezvoltate ale ştiinţelor matematice ale naturii, de idei filosofice.

---

[2] Goethe, bunăoară, credea că o asemenea pregătire și asemenea competențe pot adesea mai mult să strice decît să folosească și că nu sînt cîtuși de puțin necesare pentru a produce un rezultat științific cu adevărat important, cum ar fi propria sa teorie asupra culorilor. „Pentru a înțelege fenomenele teoriei culorilor nu e nevoie de nimic altceva decît de o intuiție clară și un cap sănătos. Din păcate însă, aceste două calități le găsești laolaltă mult mai rar decît se crede.“ (J. P. Eckermann, pag. 190.) Goethe, relatează Eckermann, aprecia în mod deosebit ceea ce numea „desprinderea explicației culorilor din chingile matematicii“.

[3] Nici marile personalități științifice ale epocii nu credeau, de fapt, că așa stau lucrurile. Helmholtz, de exemplu, poate și sub influența mișcării neokantiene, era înclinat să considere că filosofia și știința se întîlnesc și colaborează mai ales în analiza condițiilor generale ale procesului cunoașterii. „Nu putem nega, scria el în 1862, că o dată cu pretențiile nejustificate de subordonare a celorlalte discipline, pe care le-a ridicat filosofia identității, au fost aruncate peste bord și pretențiile îndreptățite ale filosofiei, anume acelea de a realiza critica surselor cunoașterii și de a fixa criteriile activității spirituale.“ (H. von Helmholtz /2/, pag. 124.) Dincolo de evidențierea reacției îndreptățite a lui Helmholtz față de atitudinile nihiliste de contestare a oricărei semnificații a gîndirii filosofice pentru cunoașterea științifică, care se înrădăcinaseră deja în cercurile cercetătorilor naturii, nu trebuie însă să pierdem din vedere că perspectiva lui asupra prezenței și rolului reflecției filosofice în gîndirea științifică rămîne unilaterală și limitată. Fr. Engels, contemporanul lui Helmholtz, criticînd un mod de raportare la filosofie răspîndit printre cercetătorii naturii din a doua jumătate a secolului trecut, remarca mai ales neînțelegerea influenței complexe pe care o exercită tradiția filosofică asupra gîndirii teoretice în știință. (Vezi Fr. Engels, *Dialectica naturii*, îndeosebi fragmentele *Știința naturii și filosofia* și *Dialectica*.)

Calificînd supoziţiile fundamentale ale cercetării, despre care va fi vorba în cele ce urmează, drept idei filosofice, am în vedere unele caracteristici care le disting bine de ipotezele ştiinţifice specifice, indiferent de nivelul de generalitate al acestora din urmă : mai întîi, ele fixează anumite condiţii-cadru, care sînt *a priori* într-un sens pragmatic al termenului, condiţii pe care sînt ţinute să le satisfacă aceste ipoteze ; în al doilea rînd, ele pot funcţiona drept supoziţii directoare ale cercetării fără să fi fost întotdeauna formulate explicit, într-un mod cît mai clar, mai precis şi mai complet, aşa cum se cere să fie formulate ipotezele ştiinţifice propriu-zise ; în al treilea rînd, ele nu sînt sub controlul experienţei în sensul obişnuit al cuvîntului, sens care vizează ipotezele teoretice specifice. O examinare cît de sumară a programului mecanicist, în expunerea sobră şi autorizată pe care i-a dat-o una din figurile dominante din fizica secolului trecut, Hermann von Helmholtz, relevă prezenţa şi funcţia esenţială a unor asemenea idei în ştiinţa pozitivă.

Capitolul I

Fizică mecanicistă versus ştiinţă romantică; supoziţii filosofice ale programului mecanicist

Mecanicismul a fost, în primul rînd, o reprezentare asupra sensului și țelului progresului cercetării în fizica teoretică, întemeiată pe o viziune filosofică determinată asupra naturii realității fizice. Principiul mecanicismului poate fi formulat spunînd că sarcina cunoașterii fizice este reducerea calităților la mișcări, explicarea fenomenelor și proceselor fizice prin mișcările unor puncte materiale sau elemente materiale invariabile. (Vezi M. Planck /3/.) În cuvîntarea sa programatică, rostită la Congresul naturaliștilor de la Innsbruck (1869), Helmholtz afirma că cele mai importante realizări ale ştiinţelor naturii ne îndreptăţesc să considerăm că orice schimbare sau orice proces din natură reprezintă o schimbare în repartizarea în spaţiu a substanțelor elementare şi se produce, în ultimă instanţă, prin mişcarea mecanică. „Dacă mişcarea este schimbarea originară *(Urveränderung)* ce stă la baza tuturor schimbărilor din lume, atunci toate forţele elementare sînt forţe de mişcare *(Bewegungskräfte)*, iar scopul final al ştiinţelor naturii este să găsească mişcările şi forţele motrice care stau la baza tuturor schimbărilor, adică să se dizolve în mecanică.“ (H. von Helmholtz /3/, pag. 345.) Marele naturalist german putea desigur să creadă că asemenea consideraţii despre obiectivele finale ale cunoașterii fizice, dacă nu ale cunoaşterii naturii în general, ar putea fi întemeiate oarecum inductiv, pe calea generalizării și extrapolării unor tendinţe ce pot fi desprinse prin examinarea, într-o perspectivă istorică mai largă, a sensului progreselor ce aveau loc efectiv în ştiinţele teoretice ale vremii. Este însă destul să citim cu atenţie pasajul citat, în care intervin expresii ca „schimbare originară“, „substanţe elementare“, „forţe elementare“,

„mişcări şi forţe care stau la baza tuturor schimbărilor“ etc., ca să ne dăm seama că aici vorbeşte filosoful naturii, gînditorul care are o anumită reprezentare generală, mai vagă sau mai coerentă, despre constituţia sau alcătuirea ultimă a lumii fizice. Cerinţele şi criteriile formulate în acest pasaj stau cu totul pe alt plan decît ipotezele specifice pe care le formulează sau le judecă cercetătorul. Despre acestea din urmă Helmholtz scrie că nu sînt decît tentative de a formula legi determinate şi că cele care „nu au un asemenea sens faptic sau nu oferă, în general, determinări sigure şi univoce cu privire la faptele ce cad sub ele trebuie considerate ca fraze fără valoare . . .“. (H. von Helmholtz /4/, pag. 246.) Or, deşi ideile programatice ale cuvîntării inaugurale de la Innsbruck nu sînt sub controlul experienţei în mai mare măsură decît acele ipoteze despre care se spune că sînt lipsite de „sens faptic“, este departe de noi gîndul că Helmholtz le-ar fi putut califica în acelaşi fel. În fapt, el distingea deci supoziţiile-cadru în care se mişcă cunoaşterea ştiinţifică de ideile formulate în acest cadru. Primele ocupă o poziţie privilegiată [1]; numai ultimele sînt supuse rigorilor metodei inductive.

În general, se poate spune că marile personalităţi ştiinţifice care au formulat şi au popularizat programul mecanicist în a doua jumătate a secolului trecut — H. von Helmholtz, E. du Bois Reymond sau W. Thomson — au fost în mică măsură conştiente de natura filosofică a presupozițiilor sale fundamentale. Lor li s-ar putea aplica *mutatis mutandis* o remarcă pătrunzătoare a lui E. H. Burtt despre Newton, și anume că substanța „metafizică“ a unora din ideile de bază ale programului său științific nu a fost recunoscută de newtonieni și că aceste idei au fost acceptate necritic pe temeiul marii autorități științifice a maestrului. Cercetătorul care își însușește programul mecanicist o dată cu primele elemente ale instrucției sale științifice și lucrează cu succes pe baza lui nu are cum să bănuiască despre supoziții care-i apar atît de firești și incontestabile că ele reprezintă de fapt doar o perspectivă filosofică, una între altele posibile, asupra naturii și asupra condițiilor pe care trebuie să le satisfacă o cunoaștere științifică autentică a naturii. În mentalitatea științifică a epocii, calitatea unei reprezentări de a fi „filosofică“ era de fapt indisociabilă de recunoașterea naturii ei subiective, chiar strict personale. Punctul de vedere larg acceptat, formulat de Helmholtz, cu privire la țelurile ultime ale cunoașterii științifice a naturii nu părea să conțină nimic „filosofic“, în acest sens al termenului. Desigur că promotorii programului mecanicist, cercetători cu larg orizont și cu interese istorice, știau că au fost propuse și alte moduri de a vedea natura și știința naturii. Dar de vreme ce propriul punct de vedere li se părea cel adevărat, ei nu erau înclinați să le ia în serios, considerîndu-le pur și simplu ca greșite. Iar dacă vorbeau totuși despre ele, o făceau în măsura în care credeau că erorile sînt instructive, că numai prin raportare la viziunile preștiințifice, speculative pot fi mai bine înțelese valoarea și însemnătatea punctului de vedere care a fost în cele din urmă adoptat de știință.

---

[1] Helmholtz a reflectat ocazional asupra statutului aparte al *principiilor cercetării*. El sublinia că cercetarea fizică porneşte de la ideea legităţii universale (principiul cauzalităţii) şi recunoştea că acest principiu regulativ al cercetării nu poate fi întemeiat printr-o experienţă cît de cuprinzătoare. Singura lui garanţie sînt succesele de pînă acum ale cercetării. (Vezi H. von Helmholtz /5/, pag. 247—248.) Un asemenea punct de vedere poate fi apreciat drept deosebit de modern. Helmholtz preferă unei întemeieri *a priori* a principiului cauzalităţii ca *necesitate de gîndire (Denknotwendigkeit)* o întemeiere pragmatică mai apropiată de mentalitatea omului de ştiinţă, întemeiere al cărei sens este bine exprimat prin sentinţa : „Ai încredere şi acţionează.“ Sîntem îndreptăţiţi să adoptăm ideea cauzalităţii sau a determinismului universal ca normă, ca principiu al cercetării, de îndată ce funcţionarea lui cu succes a probat pînă acum valoarea lui euristică. Desigur însă că a-i atribui lui Helmholtz şi presupunerea inversă şi anume că în situaţii de cunoaştere cu totul noi, cînd principiul clasic al cauzalităţii ar înceta să mai aibă o valoare euristică, s-ar impune abandonarea lui, ar reprezenta o modernizare nejustificată a poziţiei sale.

Sub acest aspect, o atenție deosebită merită raportările lui Helmholtz și ale altor mari cercetători din generația lui la filosofia idealistă a naturii și la știința romantică. Invocarea acestora ne permite să înțelegem mai bine că adeseori numai modurile străine de a concepe și de a practica știința apar cercetătorului angajat ca fiind inspirate de o anumită „filosofie“, nu și ideile directoare sau supozițiile latente, tacite pe care și le însușește o dată cu conceptele și metodele speciale ale disciplinei în care lucrează. Pe acestea din urmă, el nu le distinge de obicei de conținutul strict pozitiv al instrucției sale, în ciuda faptului că ele și numai ele îi oferă perspectiva generală, îl însuflețesc și-l orientează în munca de fiecare zi.

Supozițiile filosofice ale mecanicismului se concentrează, mi se pare, în jurul a ceea ce voi numi aici ideea esențialistă sau *esențialismul*. Utilizez termenul pentru a desemna o viziune în același timp ontologică și epistemologică, o reprezentare asupra naturii și a condițiilor cunoașterii naturii [2]. Această reprezentare pe care o implică programul mecanicist, în toate formele și varietățile sale, ar putea fi sugerată, prin inversarea unei cunoscute metafore a lui Goethe, afirmînd că natura are un sîmbure și are o coajă. Sau, în termenii unei analogii tehnice, spunînd că ceea ce vedem în natură sînt doar efectele, rezultatele funcționării unor mecanime care nu sînt accesibile observației directe. Fizicianul va încerca să atingă o cunoaștere cît mai adecvată a acestor mecanisme, imaginînd ipoteze despre substanțe, forțe și corelații ascunse, și judecîndu-le valoarea de cunoaștere prin compararea consecințelor deduse din ele pe cale matematică cu datele observației și experimentului măsurat. Un întreg univers de imagini și metafore, care s-au dezvoltat în mediul gîndirii mitice, poetice sau meșteșugărești, este încă funcțional cînd este vorba de a evoca acest sentiment al contrastului dintre interioritate și exterioritate, dintre aparență și realitatea profundă, esențială a naturii, care-l stăpînește pe fizicianul de factură mecanicistă. Natura i se prezintă desigur observatorului naiv ca o varietate multiformă, colorată, de obiecte, procese și evenimente distincte. Fizicianul teoretician știe însă ceva fundamental : toate acestea nu sînt, pînă la urmă, decît mişcări ale particulelor materiale elementare sau ale unui mediu continuu (eterul). Lumea observaţiei curente este reductibilă la o lume subiacentă, cu un grad mai înalt de realitate, care poate fi descrisă prin modele mecanice. Acesta este un principiu de filosofie a naturii, independent de faptul că susţinătorii lui sînt înclinaţi să-l considere ca o simplă extrapolare a experienţelor şi rezultatelor ştiinţei exacte a naturii. Pentru cei care-l adoptă ca neproblematic, scopul ultim al cercetării nu poate fi, evident, decît reducerea tuturor fenomenelor cunoscute ale naturii la mişcări ale unor entităţi situate dincolo de nivelul observaţiei, ceea ce Helmholtz numea „dizolvarea ştiinţelor naturii în mecanică“. Atingerea acestui scop ar însemna producerea unei explicaţii pe deplin satisfăcătoare a fenomenelor. Relaţiile dintre faptele accesibile observaţiei şi principiile explicative ale ştiinţei matematice ale naturii apar ca relaţii dintre efecte şi cauzele lor ascunse. O analiză a teoriei culorilor a lui Goethe îi oferă lui Helmholtz prilejul binevenit de a exprima în contururi deosebit de nete această reprezentare larg împărtăşită asupra naturii şi idealul ştiinţific care i se asociază.

---

[2] Această accepție a termenilor *esențialism* și *esențialist* trebuie distinsă de sensul peiorativ în care sînt utilizați termenii în scrieri filosofice contemporane. În acest sens expresia *esențialism* desemnează concepția dogmatică, necritică, după care teoriile științifice vizează cunoașterea „esenței ultime a realității". „(2) Omul de știință poate să stabilească în cele din urmă adevărul unor asemenea teorii (a teoriilor care trebuie să ofere explicații ale faptelor observate, M. F.) dincolo de orice îndoială rezonabilă ... (3) Cele mai bune teorii, teoriile științifice autentice, descriu 'esențele' sau 'natura esențială' a lucrurilor — realitățile ce se află dincolo de aparențe. Asemenea teorii nici nu trebuie să fie explicate și nici nu sînt susceptibile să fie explicate mai departe ; ele sînt *explicații ultime,* și formularea lor este ultimul scop al omului de știință. A treia doctrină (în conexiune cu a doua) este cea pe care am numit-o 'esențialism'." (K. R. Popper /2/, pag. 103—104.)

Teoria culorilor constituie o manifestare exemplară a acelei mişcări de idei pe care istoricii o numesc după preferinţă *Naturphilosophie* sau *ştiinţă romantică* şi sînt, în genere, de acord s-o caracterizeze drept o reacţie împotriva spiritului obiectiv şi analitic al ştiinţei newtoniene a naturii din secolul al XVIII-lea [3]. Respingerea pasionată, cu accente agresive, sarcastice şi dispreţuitoare a teoriei newtoniene a culorilor şi a ştiinţei mecaniciste de către un gînditor de talia lui Goethe [4], îi surprinde dureros pe mulţi istorici ai epocii şi le apare greu de înţeles[5]. Într-o lucrare de tinereţe (1853) Helmholtz a indicat pentru prima dată o cale spre o înţelegere mai profundă a acestui episod, sugerînd că atitudinea lui Goethe are temeiuri adînci, izvorînd din repudierea unei întregi filosofii a naturii în cadrul căreia s-a dezvoltat ştiinţa newtoniană în ansamblu şi în particular teoria clasică a culorilor[6]. Asemenea filosofilor idealişti ai naturii ca Schelling sau Hegel, Goethe credea că realitatea sensibilă este expresia nemijlocită a ideii, a diferitelor trepte de dezvoltare a conceptului. Cercetătorul naturii nu trebuie să năzuiască spre depăşirea realităţii concrete senzoriale, ci spre exprimarea conceptuală a acestei realităţi în unitatea şi continuitatea ei. Goethe respingea din principiu orientarea analitică a fizicii newtoniene. Natura nu poate fi decît deformată, mutilată prin aplicarea metodelor şi instrumentelor experimentale, iar descrierea ei matematică, care echivalează cu eliminarea aspectelor calitative, generează o ştiinţă ce sacrifică de dragul clarităţii şi preciziei ceva mai fundamental, şi anume, sentimentul comunicării omului cu natura. Observaţiile făcute în condiţii naturale, sub cerul liber, sînt mult mai probante din punct de vedere ştiinţific, fiindcă natura îşi dezvăluie doar nesilită conţinutul ei ideatic, şi nu sub tortura experimentului. Urmează că ştiinţa autentică nu trebuie să părăsească domeniul senzorialităţii, să caute o esenţă ascunsă dincolo de aparenţă şi contrară aparenţelor. Tocmai această concluzie este inacceptabilă pentru Helmholtz şi îi prilejuieşte, prin contrast, o afirmare deosebit de clară şi pregnantă a idealului ştiinţific mecanicist. „Această cerinţă este foarte ademenitoare dar, în esenţa ei, fundamental falsă. Căci un fenomen fizic este explicat în mod complet abia atunci cînd este redus la forţele naturale ultime care-i stau la bază şi acţionează în el. Fiindcă noi nu percepem niciodată aceste forţe în sine ci numai consecinţele acțiunii lor, va trebui ca în orice explicație a fenomenelor naturii să părăsim domeniul senzorialității și să trecem la lucruri neperceptibile, care pot fi determinate numai prin concepte." (H. von Helmholtz /1/, pag. 18.) Helmholtz adaugă că viziunea romantică, idealistă, asupra științei naturii, cel puțin în forma ei particulară de expresie pe care o găsim la Goethe, poate fi caracterizată și ca o perspectivă „poetică". Căci pentru poet sensibilul nu este decît exteriorizarea idealului. Fizicianul năzuiește, dimpotrivă, spre cunoașterea unor constituenți elementari și a unor mecanisme interne din care își propune să derive, ca efecte, fenomenele naturii. (Vezi H. von Helmholtz /1/, pag. 22—23.)

---

[3] „Romantismul a început ca o revoltă morală împotriva fizicii, exprimată prin încercări mişcătoare, triste şi mînioase de a apăra o ştiinţă calitativă, în care natura poate fi în armonie cu omul, împotriva unei ştiinţe care măsoară şi numără, care îl înstrăinează pe creatorul de ştiinţă de propria lui creaţie printr-o totală obiectivare a naturii.“ (Ch. C. Gillispie /1/, pag. 199.)

[4] „Nu aveam oare dreptul să fiu mîndru — îi spunea Goethe lui Eckermann — cînd de douăzeci de ani încoace sînt nevoit să-mi mărturisesc că marele Newton şi toţi matematicienii şi calculatorii cei mai de seamă s-au dovedit a fi, împreună cu el, în ceea ce priveşte teoria culorilor, cufundaţi într-o categorică eroare şi că dintre milioane de oameni eu sînt singurul care, într-un fenomen al naturii de asemenea importanţă, cunosc adevărul ? “ (J. P. Eckermann, pag. 511.)

---

[5] Gillispie, de exemplu, încearcă să exprime acest sentiment caracterizînd poziţia lui Goethe ca „un anacronism descurajator nu numai în sine ci venind la sfîrşitul acestui secol (al XVIII-lea — M. F.), presupus a fi inspirat de spiritul newtonian . . . “ (Ch. C. Gillispie /1/, pag. 179.)

[6] „Un asemenea dezacord ne face să bănuim că în spatele chestiunii se ascunde o contradicţie principială mult mai adîncă a unor direcţii de gîndire diferite, care împiedică înţelegerea reciprocă a partidelor în luptă.“ (H. von Helmholtz /1/, pag. 12.)

Aceste pasaje merită, cred, cea mai mare atenție. Ele semnalează că un dezacord teoretic într-o problemă determinată, explicarea culorilor, își are originea, în ultimă instanță, în concepții opuse asupra naturii și asupra cunoașterii naturii. Ele exprimă, totodată, cu o limpezime și cu o forță de sugestie greu de depășit, atît sîmburele tare al oricărei filosofii esențialiste a naturii și a științei naturii, cît și particularitățile filosofiei esențialiste implicate într-o stare mai mult latentă, neelaborată în programul fizicii mecaniciste. Ca element constitutiv al unei viziuni globale asupra cunoașterii fizice, esențialismul presupune, în general, o concepție materialistă asupra realității fizice și o concepție realistă asupra cunoașterii ei. Cunoașterea fizicii este concepută ca o sforțare continuă de a aproxima cît mai bine, de a descrie cît mai fidel, entități și structuri inaccesibile observației directe, dar în același timp materiale, adică proprii naturii așa cum există ea în afară și independent de conștiința noastră și de cunoașterea noastră. Iată de ce, cum subliniază și Helmholtz, pentru fizician „autoritatea senzorială nu este o autoritate de netăgăduit, el caută îndreptarea acesteia, se întreabă dacă este, în realitate, asemănător ceea ce este asemănător pentru simțuri și dacă este, în realitate, deosebit ceea ce ele prezintă ca deosebit, și ajunge adesea la un răspuns negativ." (H. von Helmholtz /1/ pag. 19.) Pe de altă parte, este clar că programul mecanicist se întemeiază pe un esențialism de factură dogmatică, care postulează realități fizice ultime, ireductibile și principii explicative cu valoare absolută, un esențialism apropiat din acest punct de vedere, și numai din acest punct de vedere, de esențialismul filosofiilor tradiţionale ale naturii, cum este atomismul. Referirile lui Helmholtz la o *explicaţie fizică completă* a fenomenelor şi la *forţe naturale ultime*, a căror cunoaştere face posibilă o asemenea explicaţie, nu lasă nici o îndoială în această privinţă. Supoziţiile „absolutiste“ ale programului mecanicist ar putea fi exprimate în felul următor : ştim care este natura elementelor constitutive ultime ale realităţii fizice, care sînt principiile şi condiţiile unei explicaţii complete şi definitive a tuturor fenomenelor naturii ; orice explicaţie teoretică satisfăcătoare va avea în mod obligatoriu structura unui model mecanic [7]. În istoria cunoaşterii naturii, diferitele modele mecanice ale unuia şi aceluiaşi proces natural pot fi caracterizate drept aproximaţii ipotetice ale unei explicaţii mecanice complete şi definitive. Producerea unei asemenea explicaţii era concepută ca o sarcină complexă şi totuşi finită. Chiar dacă putem admite că ştiinţele naturii sînt încă la începutul drumului lor, sîntem în măsură să stabilim de pe acum la ce rezultate vor ajunge ele la capătul acestui drum. Sensul progresului ştiinţific apare astfel ca prestabilit, ca predeterminat, cel puţin în linii mari. Determinarea ţelului final al cunoaşterii lumii fizice indică clar condiţiile pe care trebuie să le satisfacă o ipoteză promiţătoare sau o teorie ştiinţifică reuşită. Aceste condiţii sînt socotite imuabile, ca şi idealul ştiinţific în lumina căruia au fost formulate [8].

---

[7] W. Thomson (lord Kelvin) s-a opus de pildă teoriei electromagnetice a luminii, formulată de Cl. Maxwell, fiindcă nu satisface această condiţie. Într-o conferinţă ţinută la Baltimore în 1889, el spunea : „Nu sînt niciodată mulţumit, atît timp cît nu îmi pot face despre un anumit lucru un model mecanic. Abia atunci îl înţeleg. Dacă nu-l pot exprima în întregime în concepte mecanice, nu-l înţeleg : de aceea, nu înţeleg teoria electromagnetică.“

[8] Pentru unele dezvoltări vezi şi M. Flonta /4/.

Capitolul II

Reacţia fenomenalistă; teoria economic-biologică a cunoaşterii şi teoria cunoaşterii fizice a lui E. Mach

Orientarea fenomenalistă în fizică s-a conturat şi s-a dezvoltat în ultimele decenii ale secolului trecut, ca o alternativă declarată faţă de programul mecanicist. Unii istorici ai fizicii şi filosofi de orientare pozitivistă ai secolului nostru au fost tentaţi să caracterizeze teoria cunoaşterii fizice a lui E. Mach şi a energetiştilor doar ca o reacţie îndreptăţită faţă de elementele dogmatice ale concepţiei mecaniciste curente. O astfel de apreciere mi se pare inacceptabilă în măsura în care pune în umbră o distincţie care este fundamentală din punct de vedere istoric : distincţia dintre elementele dogmatice şi elementele perene, viabile ale orientării dominante în gîndirea fizică a celei de-a doua jumătăţi a secolului trecut. Nu se poate desigur contesta că analizele istorice ale lui Mach, îndeosebi examinarea critică a unor concepte fundamentale ale mecanicii newtoniene, pe care le-a întreprins în cunoscuta lui lucrare de istorie a mecanicii (vezi E. Mach /3/), au contribuit la zdruncinarea dogmatismului mecanicist şi au stimulat căutarea unor noi căi de dezvoltare a teoriei fizice, exercitînd, din acest punct de vedere, o influenţă pozitivă asupra gîndirii unor cercetători din noua generaţie, în primul rînd a lui Einstein[1]. Cînd vorbim însă de influenţa teoriei cunoaşterii fizice a lui Mach sau a lui Ostwald asupra gîndirii fizicienilor din epoca lor şi din generaţia următoare, trebuie să considerăm în primul rînd concepţia lor asupra sensului şi obiectivelor cunoaşterii fizice, precum şi orientarea pe care doreau ei să o imprime, pe această bază, cercetării teoretice. Or, elementul esenţial al acestei concepţii era, cum se va arăta în continuare, cu referire la sursele prime, viziunea fenomenalistă, antiesenţialistă asupra cunoaşterii fizice, şi nu denunţarea pur şi simplu a unor îngustimi şi limitări ale reprezentării mecaniciste dominante despre căile dezvoltării viitoare a acestei cunoaşteri[2]. Dacă vom fi conduşi spre concluzia că opoziţia dintre o concepţie fenomenalistă şi o concepţie esenţialistă a cunoaşterii fizice constituie, în ultimă instanţă, nucleul controversei care i-a opus, cu deosebire, în ultimul deceniu al secolului trecut şi în primul deceniu al secolului nostru, pe Mach, Ostwald şi alţi fizicieni influenţi, care împărtăşeau un punct de vedere apropiat cu privire la orientarea strategică a cunoaşterii fizice, pe de o parte, şi pe susţinătorii mecanicismului şi ai atomismului, pe de altă parte, înseamnă că va trebui să considerăm încercările mai vechi sau mai noi de a-l caracteriza pe Mach drept precursor al concepţiei moderne a cunoaşterii fizice[3] ca avîndu-şi sursa într-o neînţelegere. O analiză care răzbate dincolo de corelaţii de suprafaţă, ce pot induce în eroare, relevă că fizica secolului XX s-a constituit pe fundalul unor supoziţii şi principii filosofice diametral opuse inspiraţiei fundamentale a teoriei machiste şi energetiste a cunoaşterii fizice.

---

[1] Vezi în acest sens şi Fr. Herneck.

Mach a elaborat un punct de vedere fenomenalist asupra cunoaşterii fizice în cadrele unei concepţii filosofice idealist-subiective şi ale unei teorii biologic-economice a cunoaşterii în general, în speţă a cunoaşterii ştiinţifice. Realitatea ultimă sînt elementele senzoriale. Ceea ce numim obiecte, fenomene sau procese naturale nu sînt de fapt decît asocieri constante de elemente senzoriale. „Nu corpurile sînt cele ce provoacă senzaţiile, ci complexe de elemente (complexe de senzaţii) constituie corpurile.“ (E. Mach /4/, pag. 23.) Teoria cunoaşterii a „antimetafizicianului“ Mach se întemeiază, de fapt, pe o metafizică formulată explicit[4]. Vorbind în general, obiectul cunoaşterii va fi ceea ce această metafizică recunoaşte a fi realitatea autentică, adică experienţa senzorială. Mach spune direct că „tot ceea ce putem şti despre lume se exprimă în mod necesar în impresiile senzoriale, care pot fi eliberate, într-un mod ce poate fi indicat precis, de influenţele individuale ale observatorului. Tot ceea ce putem dori să cunoaştem va fi oferit prin rezolvarea unei probleme de formă matematică, prin determinarea dependenţei funcţionale a elementelor senzoriale unele faţă de celelalte. Cu aceasta se epuizează cunoaşterea 'realităţii'.“ (E. Mach /4/, pag. 300—301.) Necesitatea de a stăpîni totalitatea experienţei senzoriale cu un aparat conceptual cît mai simplu reclamă ordonarea ei economică. Descrierea economică a experienţei se realizează prin exprimarea a ceea ce este repetabil, constant, invariabil în această experienţă printr-un număr cît mai restrîns de concepte, reguli şi legi. Toate noţiunile, regulile şi legile gîndirii comune sau ale celei ştiinţifice sînt doar simboluri create de om, a căror unică justificare va consta în utilitatea lor pentru ordonarea economică a diversităţii multiforme şi derutante a fluxului experienţei senzoriale. Bunăoară *lucrul*, ca o expresie a limbii de toate zilele, nu este decît un simbol economic pentru un complex de senzaţii cu o relativă stabilitate, iar termenii *cauză* şi *efect* exprimă ceea ce este comun în serii individuale de evenimente succesive. „Dacă fizicianului corpurile îi apar ca ceea ce este persistent şi real iar 'elementele' dimpotrivă ca aparenţa lor trecătoare, provizorie, el trece cu vederea că toate 'corpurile' sînt doar simboluri mintale pentru complexe de elemente (complexe de senzații)." (E. Mach /4/, pag. 23). Iată o ilustrare a acestui mod de a caracteriza abstracțiile științifice, așa-numitele entități teoretice: „Masa moale cu luciu argintiu se transformă prin încălzire într-un lichid, care la căldură mare și în absența aerului se transformă, mai departe, într-un vapor violet și prin încălzire, mai departe, într-o lumină incandescentă gălbuie. Dacă ea rămîne natriu în toate aceste transformări este datorită continuității trecerii și din necesitatea economiei. Vaporul se poate condensa și metalul alb este din nou prezent... Acest nume și acest simbol nu este nimic altceva decît un simbol economic, care prescurtează anumite fenomene. El ar fi un cuvînt gol pentru acela în care nu ar deștepta o întreagă serie de impresii senzoriale ordonate." (E. Mach /2/, pag. 231—232.)

---

[2] Atitudinea ambivalentă a lui Einstein faţă de Mach, atît de mult discutată de istoricii contemporani ai ştiinţei, reflectă, într-un fel, această distincţie. „Eu văd adevărata măreţie a lui Mach — scria Einstein în autobiografia sa intelectuală — în scepticismul şi independenţa lui incoruptibile ; în tinereţe m-a impresionat profund şi poziţia epistemologică a lui Mach, care îmi apare astăzi ca fiind, în esenţa ei, de nesusţinut.“ (Vezi A. Einstein /7/, pag. 8.) S-a observat adesea că Einstein a fost influenţat nu atît de Mach filosoful, teoreticianul cunoaşterii, cît de Mach istoricul ştiinţei, criticul mecanicii lui Newton. (Vezi, de exemplu, P. Janich.)

[3] Vezi, de pildă, Ph. Frank /1/ şi alte contribuţii din volumul în care a apărut această lucrare.

---

[4] Această relaţie, care este trecută cu vederea, dacă nu chiar contestată de către unii comentatori cu tendinţă apologetică a lui Mach (vezi O. Blüh, pag. 17), a fost pusă în evidenţă cu toată claritatea încă de V. I. Lenin /1/. Chiar şi Einstein, care a scos în evidenţă momentul pozitiv al criticii machiste a cunoaşterii, recunoştea substanţa subiectivistă a concepţiei filosofice a lui Mach. În 1948, el remarca, într-o caracterizare cuprinzătoare a poziţiei sale faţă de ideile lui Mach, următoarele : „El (Mach — M. F.) merge chiar atît de departe încît consideră 'senzaţiile' nu numai ca un material de conceptualizat, dar de asemenea, într-o anumită măsură, ca materialele de construcţie ale lumii reale ; el credea că va putea astfel umple prăpastia ce există între psihologie şi fizică. Dacă ar fi fost absolut consecvent, el ar fi trebuit să respingă nu numai atomismul ci şi ideea unei realităţi fizice.“ (A. Einstein /12/, pag. 231.)

Este evident că sîntem în fața unei viziuni empiriste și instrumentaliste deosebit de radicale asupra abstracțiilor în general, în speță asupra abstracțiilor științifice, în cadrul căreia unica lor justificare o constituie cerința practică a unei descrieri cît mai economice a fluxului experienței, de natură să asigure adecvarea și eficacitatea acțiunilor noastre. Mach nu ezită să-și asume consecințele extreme care decurg din concepția sa „economică" asupra cunoașterii. Abstracțiile, în particular abstracțiile științifice, observă el, nu oferă alte informații decît cele care ar putea fi dobîndite, într-o perioadă mai îndelungată și cu mai multă osteneală, prin simpla acumulare a experienței și compararea faptelor, fără introducerea și utilizarea ideilor abstracte[5]. Valoarea conceptelor și a tuturor tipurilor de generalizări și teorii constă exclusiv în utilitatea lor practică, ca instrumente ce permit organizarea și dominarea experienței. În cunoașterea științifică, noile concepte, teorii și moduri de gîndire se impun de îndată ce se dovedesc a fi instrumente mai eficiente de descriere și ordonare economică a experienței. Ca încercări de adaptare a gîndurilor la fapte, ele sînt supuse aceluiaşi principiu de selecţie care acţionează şi în lumea vie. (Tocmai acest aspect este avut în vedere, în primul rînd, de Mach, atunci cînd îşi caracterizează teoria cunoaşterii ca economic-biologică. Şi tocmai concepţia instrumentalistă a cunoaşterii reprezintă, dacă nu sursa, în orice caz una din justificările atitudinii critice a lui Mach faţă de forme tradiţionale ale gîndirii ştiinţifice.[6]) Toate prestaţiile cognitive ale celor mai abstracte teorii ale ştiinţelor naturii, susţine Mach, pot fi derivate din calitatea lor de instrumente de descriere economică a faptelor. În ciuda unei impresii, pe cît de răspîndite pe atît de înşelătoare, aceste teorii nu explică faptele, în înţelesul obişnuit al cuvîntului. Ele nu ne deschid accesul spre o lume ce se situează dincolo de cea a fenomenelor accesibile observaţiei directe şi nu ne dezvăluie nimic din ceea ce nu am putea afla, cel puţin în principiu, printr-o experienţă cît mai cuprinzătoare şi completă. „Cele mai impozante propoziţii ale fizicii, dacă le desfacem în elementele lor, nu se deosebesc prin nimic de propoziţiile descriptive ale istoricului naturii. Întrebarea 'de ce ?', care este oportună întotdeauna atunci cînd este vorba de clarificarea unei contradicţii, poate, ca orice obişnuinţă adecvată scopului, să nu mai fie oportună, adică să fie pusă acolo unde nu mai este nimic de înţeles." (E. Mach /1/, pag. 228.) Mach admitea că din punctul de vedere al conştiinţei ştiinţifice curente împrejurarea că teoriile fizice permit predicţia unor fapte noi relevă că acestea reprezintă mai mult decît descrierea conceptuală a faptelor. Nu se observă însă, în acest caz, remarca el, că predicţia teoretică a unor fapte noi nu constituie în realitate decît întregirea în gîndire a faptelor ce ne sînt cunoscute doar parţial. Căci teoriile ştiinţifice au nu numai rolul de a oferi o reprezentare sinoptică, unitară și necontradictorie a experienței, ci și de a înlocui experiența. Caracterul artificial al acestei încercări de a explica în cadrul unei concepții fenomenaliste demersuri de cunoaștere cum ar fi predicția teoretică a unor fapte noi, care arată că teoriile științifice nu se limitează la reprezentarea economică a datelor experienței, ci transced, depășesc experiența, sare astăzi în ochi.

---

[5] „Trebuie spus că nu există rezultat științific care să nu poată fi găsit, în principiu, și fără metodele științifice. De fapt, însă, o cunoaștere demnă de menționat poate fi atinsă, dată fiind scurtimea unei vieți de om și limitele memoriei umane, numai prin cea mai mare economie a gîndurilor." (E. Mach /3/, pag. 530.) Pentru alte formulări ale acestei concluzii, vezi, de exemplu, E. Mach /1/, pag. 227 sau E. Mach /5/, pag. 269.

---

[6] Teoria ştiinţei a lui Mach sau P. Duhem ne atrage atenţia asupra faptului că ideea relativităţii fundamentelor ştiinţei poate să fie elaborată nu numai în cadrele unei concepţii realiste, ci şi în cele ale unei concepţii instrumentaliste a cunoaşterii ştiinţifice. Substanţa filosofică a ideii relativităţii cunoaşterii este însă sensibil alterată în tranziţia de la realismul epistemologic la instrumentalism. Schimbarea de perspectivă care are loc este sugerată de distincţia, subliniată de Lenin, între recunoaşterea relativităţii cunoaşterii şi interpretarea ei relativistă. (Vezi V. I. Lenin /1/, capitolul II, § 6.) O concepţie instrumentalistă consecventă conduce spre o interpretare relativistă radicală a dezvoltării istorice a cunoaşterii ştiinţifice.

Teoria cunoașterii fizice a lui Mach, în particular atitudinea lui față de principalele direcții de cercetare și școli din fizica teoretică a vremii sale, ne apar drept consecințe necesare ale aplicării principiilor sale epistemologice. Se poate presupune că Mach, spre deosebire de marea majoritate a fizicienilor creatori cu preocupări filosofice, a ajuns la un punct de vedere asupra țelului cunoașterii științifice și la evaluarea orientărilor rivale ce se confruntau în gîndirea fizică a vremii, pornind de la considerații filosofice generale, și nu a recurs doar la asemenea considerații pentru a justifica și întări *post festum* opțiuni teoretice izvorîte din rațiuni științifice de ordin mai special[7]. Mach a subliniat, în mod repetat, că viziunea sa asupra orientării strategice a cunoașterii fizice s-a cristalizat sub influența determinantă a concepției economic-biologice a cunoașterii. În același sens, Mach atrăgea atenția, în polemica sa cu Planck, că orientarea sa „pozitivistă" și „fenomenalistă" în fizică nu este înțeleasă corect dacă este atribuită insuccesului pe care l-au înregistrat în ultimele decenii ale secolului trecut unele ipoteze explicative bazate pe modele atomiste și mecaniciste ; această orientare are temeiuri mai profunde, de ordin general filosofic. (Vezi E. Mach /8/, pag. 15.) Pe de altă parte, Mach a considerat că teoria sa economic-biologică a cunoașterii nu este importantă în sine, ca obiect al unui interes filosofic pur, ci prin consecințele ce decurg din ea pentru orientarea cercetării științifice[8]. Obiectivul final al filosofiei sale este, cu alte cuvinte, influenţarea gîndirii şi a orientării activităţii cercetătorilor naturii. Această intenţie este formulată în cuvîntul înainte al cărţii sale *Cunoaştere şi eroare* în termenii următori : „Înainte de toate am năzuit nu să introduc o *nouă* filosofie în ştiinţa naturii, ci să înlătur din aceasta una *veche, perimată,* o năzuinţă care dealtfel este luată în nume de rău şi de unii cercetători. Printre numeroasele doctrine ce au apărut de-a lungul timpului se găsesc şi unele pe care filosofii înşişi le-au recunoscut drept erori sau le-au analizat atît de pătrunzător încît orice spirit fără idei preconcepute le poate recunoaşte ca atare. Acestea au supravieţuit în ştiinţele naturii, unde nu au fost supuse unei critici atente, ca o specie de animale lipsită de apărare într-o insulă îndepărtată, unde nu are duşmani. Asemenea doctrine, care nu sînt doar inutile în ştiinţele naturii ci generează pseudoprobleme dăunătoare, nu merită altceva decît să fie înlăturate. Dacă am făcut, în acest fel, ceva bun, acesta este de fapt *meritul filosofului.*“ (E. Mach /7/, p. VIII.)

---

[7] Un caz asemănător este cel al fizicianului american J. B. Stallo, care a dezvoltat în cartea sa *Conceptele fizicii moderne*, apărută în 1882, o critică a atomismului mecanicist, apropiată nu numai în intenția ei fundamentală, dar și în argumente de cea întreprinsă de Mach. Stallo dezvoltă această critică drept concluzia particulară și practică a unei epistemologii empiriste și pozitiviste, de nuanță fenomenalistă. Mai larg, vezi M. Flonta /4/.

[8] „Nu aștept aplauzele filosofilor — remarca el într-o scrisoare — ci recunoștința cercetătorului naturii." (Cf. H. Henning, pag. 8.)

Care este doctrina depăşită din punct de vedere filosofic, de sub a cărei influenţă năzuieşte Mach să elibereze gîndirea cercetătorilor naturii ? Examinarea celor mai semnificative pasaje din scrierile lui Mach nu permite, aşa cum a reieşit sper din scurta prezentare de mai sus, decît un singur răspuns la această întrebare : concepţia realistă şi esenţialistă a cunoaşterii ştiinţifice. Mach a combătut o viaţă întreagă atomismul şi mecanicismul fiindcă a văzut în ele expresiile cele mai impozante şi influente ale filosofiei esenţialiste a cunoaşterii în fizica vremii. Critica atomismului şi a mecanicismului este întreprinsă în mod consecvent din punctul de vedere al teoriei economic-biologice a cunoaşterii. Potrivit acestui punct de vedere, cunoaşterea fizică progresează prin efortul de a reduce un număr cît mai mare de fapte şi legi la legi tot mai generale, care exprimă corelaţii constante între elemente măsurabile ale fenomenelor. Acestei orientări „descriptive“, pe care Mach o califică ca „cea corectă“ (vezi E. Mach /8/, pag. 8), i se opune orientarea numită „explicativă, care încearcă să derive legile din supoziţii cu privire la existenţa şi comportarea unor entităţi transcendente, inaccesibile observaţiei. Mach a considerat atomismul drept cea mai crasă manifestare a unei asemenea orientări, ale cărei roade le numea „tendințe neștiințifice în știință". Constatarea că între concepția generală a lui Mach despre țelul cunoașterii științifice și orientarea pe care dorea el să o imprime dezvoltării cunoașterii fizice există, în genere, o relație de la principii la consecințe[9] pune în relief și conferă o semnificație majoră afirmației sale că a respins atomismul din motive principiale, și nu pur și simplu sub impresia insucceselor pe care le-au înregistrat, la un moment dat, unele ipoteze atomiste. Planck este primul care a înțeles că respingerea atomismului nu este la Mach decît o consecință particulară a reprezentării sale despre căile[10] și sensul dezvoltării istorice a cunoașterii fizice, că critica machistă a atomismului nu vizează, în primul rînd, limitările mecaniciste ale reprezentărilor atomiste dominante în fizica celei de a doua jumătăți a secolului trecut, cum încearcă să lase impresia pînă astăzi istorici și filosofi ai științei de orientare pozitivistă, ci presupozițiile esențialiste care însoțesc de obicei introducerea și utilizarea ideilor atomiste, presupoziții caracteristice și pentru „noua atomistică", ca și pentru alte teorii fundamentale ale fizicii secolului XX.

Într-adevăr, Mach nu a manifestat un scepticism general cu privire la valoarea euristică a ipotezelor atomiste. El nu a contestat rolul ideilor atomiste în elaborarea unor teorii științifice de primă importanță ca teoria combinațiilor chimice sau teoria cinetică (moleculară) a căldurii. Critica machistă a atomismului poate fi înțeleasă, cred, mai bine și explicată pînă în nuanțele ei ca o încercare de a concilia faptul istoric — rolul atomismului în geneza unor mari descoperiri științifice — cu teoria sa fenomenalistă asupra cunoașterii fizice, care implică contestarea principială a valorii cognitive a ipotezelor despre obiecte ce nu pot fi cunoscute direct prin experiență. Ar urma deci să se arate în ce ar putea consta funcția instrumentală a ipotezelor atomiste o dată ce se contestă realitatea atomilor și a moleculelor și deci valoarea de cunoaștere propriu-zisă a ideii atomiste. Soluția pe care a găsit-o Mach a constat în caracterizarea ipotezelor atomiste drept mijloace auxiliare provizorii de reprezentare a fenomenelor, asemănătoare funcțiilor, spațiilor abstracte cu mai mult de trei dimensiuni și a altor instrumente matematice abstracte ale cunoașterii fizice. (Vezi, de exemplu, E. Mach /2/, pag. 236 și E. Mach /3/, pag. 532.)[11] Descoperirea unor corelații, într-un domeniu supus pentru prima dată cercetării, a fost adesea favorizată de analogii intuitive și imagini cu privire la entități inaccesibile observației. Bunăoară, relația dintre căldură și lucru mecanic devine mai intuitivă dacă considerăm corpurile ca fiind formate din particule foarte mici, invizibile, din atomi. În acest sens, trebuie să recunoaștem rolul stimulator pe care l-au avut ideile atomiste în descoperirea legii conservării energiei și a legilor teoriei căldurii. O dată ce legile, concepute drept corelații constante între determinări măsurabile ale fenomenelor care epuizează integral conținutul cognitiv al unei discipline, au fost deja formulate, noi putem uita de mijloacele ajutătoare care ne-au servit la descoperirea lor. O comparație utilă pentru a înțelege funcția a ceea ce Mach numește „ipoteze auxiliare“ este, probabil, cea cu schelele care sînt înlăturate după ce construcția a fost terminată. În părțile încheiate ale științei, susține el, ipotezele auxiliare cu privire la entități fictive, care pot fi deosebit de fertile în primele etape ale cercetării, încetează să mai aibă vreun rol. (Vezi E. Mach /7/, pag.

---

[9] Acest punct de vedere este susținut, cu argumente specifice, de unul din cei mai cunoscuți istorici contemporani ai concepțiilor metodologice. „Formulată altfel, susținerea mea este aceasta : punctul de vedere al lui Mach despre *țelurile* și *metodele* cercetării științifice oferă cadrul înăuntrul căruia el a dezvoltat cele mai multe din criticile sale împotriva ipotezelor atomic-moleculare." (L. Laudan /2/, pag. 206.)

[10] Expresia este utilizată chiar de Mach, care nota în una din lucrările lui mai tîrzii că „a avut prilejul în decursul a mai mult de patruzeci de ani, în laborator și la catedră, ca observator naiv, care nu era prizonierul nici unui sistem, să întrezărească *căile* pe care progresează cunoașterea". (E. Mach /7/, p. VIII.)

---

[11] Această soluție se sprijină, evident, pe distincția dintre valoarea euristică și valoarea de cunoaștere a unei ipoteze științifice. Referindu-se la decepția pe care i-a provocat-o unui antiatomist extremist observația făcută în treacăt, în *Principiile teoriei căldurii*, că reprezentările atomiste se dovedesc utile în dezvoltarea stereochimiei, Mach formulează explicit această distincție într-o notă introdusă în a doua ediție a cărții (1900). „Am evidențiat în mod clar că o ipoteză poate avea o mare valoare euristică, ca ipoteză de lucru, și în același timp o valoare cognitivă foarte mică, ceea ce doresc să subliniez încă o dată aici.“ (E. Mach /6/, pag. 430.)

244—245.)[12] Ele pot fi utile cel mult ca mijloace didactice de reprezentare intuitivă a legilor. Pe de altă parte, o dată ce o disciplină ştiinţifică se maturizează, asemenea expediente vor înceta, în general, să mai fie necesare şi va precumpăni tot mai mult descrierea conceptuală a faptelor[13].

Asemenea consideraţii filosofice şi istorico-critice l-au condus pe Mach la concluzia că fizica vremii lui a atins nivelul de maturitate care-i permite să se dispenseze de orice fel de ipoteze transcendente, inclusiv de ideea atomistă[14]. Calificînd punctul de vedere al cercetătorilor care admiteau existenţa reală a atomilor drept cel al „fizicii ipotetic-fictive" (vezi E. Mach /8/, pag. 9), opunîndu-se teoriei cinetice a gazelor şi explicaţiei celui de-al doilea principiu al termodinamicii pe baza teoriei cinetic-moleculare, Mach s-a afirmat ca unul din cei mai influenți critici ai atomisticii în ultimele trei decenii ale secolului trecut [15] şi a rămas pe această poziție, spre deosebire de Ostwald, pînă la sfîrşitul vieții sale (1916). Dincolo de partea critică, distructivă, orientarea pe care dorea Mach s-o imprime cercetării fizice. s-a concretizat în promovarea unui program de reformă al cărui țel era o reconstrucție a acelor discipline fizico-chimice ce s-au dezvoltat pe baza ideilor atomiste sau a altor „ipoteze auxiliare“ potrivit idealului fenomenalist al cunoaşterii, adică prin eliminarea oricăror realități transcendente, pe care le caracteriza, preluînd o expresie a lui Stallo, drept elemente metafizice latente în gîndirea științifică. Fundamentul epistemologic al acestei întreprinderi este aşa-numitul principiu al continuității, formulat de Mach încă în lucrarea sa asupra istoriei mecanicii. Acest principiu constă în cerința ca celor mai mici părți ale corpurilor să li se atribuie numai acele însușiri care pot fi constatate prin observarea directă a părților lor mai mari. (Vezi E. Mach /3/, pag. 530—531.) Orice teorie științifică relativ încheiată urmează să fie expusă potrivit principiului continuității, adică fără apel la entități teoretice care transced experiența.

---

[12] Iată şi un exemplu : „Ştim că în descoperirea principiului energiei a acţionat încă o reprezentare *teoretică,* de care Mayer a ştiut de fapt să se ţină departe, şi anume cea potrivit căreia căldura şi de asemenea celelalte evenimente fizice se reduc la mişcare. O dată ce a fost descoperit însă principiul energiei, aceste teorii ajutătoare şi de tranziţie nu mai joacă nici un rol şi putem considera principiul, ca şi pe cel al lui Blake, ca o contribuţie la o descriere *directă* a unui domeniu cuprinzător de fapte." (E. Mach /6/, pag. 401.)

[13] Printre cei care au anticipat punctul său de vedere fenomenalist asupra cunoaşterii fizice, Mach îl aminteşte pe englezul Rankine, care într-un articol publicat în 1855 distinge între ştiinţa descriptivă şi cea ipotetică, explicativă, considerînd că prima este fizica propriu-zisă, în timp ce ultima este numai treapta ei pregătitoare. „Atomul poate să rămînă pe mai departe un mijloc de a prezenta fenomenele, ca şi funcţiile matematicii. Treptat însă, o dată cu creşterea educaţiei intelectuale ... ştiinţa matură părăseşte jocul în mozaic cu pietricele şi încearcă să determine graniţele şi forma albiei în care curge curentul viu al fenomenelor. *Ea recunoaşte drept ţel expresia conceptuală cea mai economică, mai simplă a faptelor.*" (E. Mach /1/, pag. 236.)

[14] „Valoarea euristică şi didactică a atomisticii care constă în caracterul ei intuitiv ce pune în mişcare cele mai simple, obişnuite, concrete şi elementare funcţii ale fanteziei şi intelectului nu este pusă cîtuşi de puţin în discuţie. Este semnificativ că Dalton, un om care era de profesie institutor, a reînviat atomistica. În raport cu celelalte evoluţii filosofice ale fizicii actuale, atomistica stă însă cu reprezentările ei accesorii, copilăreşti şi de prisos într-o opoziţie caracteristică. Va fi fără îndoială posibil să separăm din atomistică, ca şi din reprezentarea substanţială a lui Blake, *esenţialul, descrierea faptelor, sîmburele conceptual* şi să înlăturăm reprezentările accesorii de prisos." (E. Mach /6/, pag. 430.)

În cartea sa *Principiile teoriei căldurii* (1896), Mach a indicat liniile mari ale unei reformulări posibile a teoriei cinetice a gazelor din care să fie înlăturate orice fel de supoziții atomiste. În această reformulare, legile teoriei nu mai sînt derivate, ca la Maxwell, din presupoziții cu privire la mişcările invizibile ale moleculelor, ci din mişcarea unor volume mici de gaz, unități accesibile observației directe. Aceste sugestii au fost respinse de cercetătorul contemporan cu cele mai mari contribuții în domeniul teoriei cinetice a gazelor, fizicianul austriac L. Boltzmann, care susținea „caracterul indispensabil al atomisticii“ [16]. Nici încercări ca aceea întreprinsă de

---

[15] Vezi în această privință capitolele intitulate semnificativ *Opoziția dintre fizica mecanicistă şi fizica fenomenologică*, *Conceptul de substanță* şi *Cauzalitate şi explicație* din E. Mach /6/.

[16] Un articol al lui Boltzmann cu titlul *Despre indispensabilitatea atomismului în ştiințele naturii*, care apare în 1897, conține o polemică transparentă cu propunerile lui Mach de reformulare a teoriei cinetice a căldurii, ca şi cu orientarea lui fenomenalistă principială. Răspunsul pe care Mach îl dă lui Boltzmann într-o notă adăugată la ediția a II-a a *Principiilor teoriei căldurii* pune în evidență clar substratul epistemologic al dezacordului. Mach subliniază avantajele unei descrieri fenomenologice a legilor teoriei cinetice a căldurii, sugerînd că pre-

F. Wald în 1897—98 de a epura chimia de presupoziții atomiste, încercare care s-a bucurat de sprijinul și încurajarea lui Mach, nu s-au impus în cele din urmă. Ne putem întreba astăzi ce consecințe ar fi putut avea asupra dezvoltării cunoașterii fizice adeziunea comunității cercetătorilor la idealul machist al unei fizici și chimii „libere“ de ideea atomistă și de orice entități teoretice în general, la principiul potrivit căruia știința se interesează numai de descrierea relațiilor dintre fapte și la deviza : „Explicația nu este decît descriere condensată“ [17]. O reflecție cît de fugară asupra unei asemenea eventualități relevă amploarea și profunzimea influenței pe care o pot avea considerații epistemologice explicite sau supoziții filosofice tacite, latente, de natură să determine opțiunea pentru o anumită orientare strategică a cercetării.

---

supoziția existenței reale a atomilor și moleculelor nu ar fi decît un „adaos arbitrar la fapte“ : „Nu pot să fiu de acord cu Boltzmann în ceea ce privește posibilitățile limitate de aplicare a *elementelor de volum (Volumelemente)*. Unui element de volum îi atribui, la alte dimensiuni, însușiri ce pot fi observate la corpurile întinse, și experiența m-a învățat că pot să micșorez la extrem etalonul fără a schimba forma faptelor. Acest procedeu nu implică nici un element ipotetic și nici o neclaritate. Kirchhoff a știut foarte bine de ce a preferat acest mod de a considera lucrurile tuturor celorlalte.“ (E. Mach /6/, pag. 431.)

[17] „Idealul spre care năzuiește, chiar dacă, pentru a spune așa, în mod asimptotic, orice expunere științifică, în descrierea completă a faptelor, cuprinde mai mult decît pot oferi toate speculațiile, lipsindu-i în schimb elementul străin, de prisos, derutant, pe care-l introduce orice speculație. Acest ideal este un *inventar* complet și sistematic al faptelor unui domeniu.“ (E. Mach /6/, pag. 461.)

Capitolul III

Energetismul şi „ştiinţa naturii liberă de ipoteze“

Epistemologia energetismului se apropie destul de mult de cea machistă, în timp ce orientarea pe care doreau s-o imprime energetiştii cunoaşterii fizice nu diferă decît în nuanţe nesemnificative de programul lui Mach. De fapt tocmai această orientare oferă unitate unei mişcări filosofice altminteri destul de eterogene.

Wilhelm Ostwald, fără îndoială prima personalitate a mişcării, omul care a consacrat prin scrierile sale termenii *energetică, fizică energetică* şi *energetism,* elaborează în acelaşi timp o filosofie a naturii şi o teorie pozitivistă a cunoaşterii fizice. El era un adversar declarat al filosofiei tradiţionale a naturii, dar concepţia lui asupra naturii ne apare astăzi mai degrabă ca o încercare de a înlocui o filosofie a naturii cu alta. Ostwald pretinde, de exemplu, că a trecut de la punctul de vedere al paralelismului materie-energie la punctul de vedere că energia este realitatea primară sau altfel spus substanţa. Masa şi greutatea, considerate drept principalele însuşiri ale materiei, sînt caracterizate acum ca determinări ale anumitor forme de energie. (Vezi W. Ostwald /6/, pag. 156—157 ; vezi şi W. Ostwald /3/, pag. 146—147 şi 152.) Această viziune, pe care Ostwald o prezintă drept o cotitură epocală în evoluţia filosofiei naturii, îi apărea superioară concepţiilor tradiţionale, bazate pe ideea de materie, tocmai fiindcă permite derivarea dintr-un singur principiu a tuturor fenomenelor naturale cunoscute, inclusiv a „materiei“. (Vezi W. Ostwald /6/, pag. 169.) Nu este de mirare că alţi energetişti influenţi au manifestat rezerve faţă de asemenea speculaţii pe care le apreciau ca o abatere de la spiritul şi inspiraţia generală a mişcării. G. Helm, de exemplu, socotea tendinţa lui Ostwald de a conferi o existenţă substanţială energiei sau, după expresia lui Ostwald, „concepţia realistă asupra energiei" drept incompatibilă cu orientarea pozitivă, antispeculativă a gîndirii lui R. Mayer, recunoscut drept fondatorul „fizicii energetice". Ostwald nu pare să fi fost însă conştient că ceea ce el numea „concepţia energetică despre lume" se armonizează greu cu o teorie empiristă şi pozitivistă radicală a ştiinţei şi a cunoaşterii în general [1]. Generalizări care sînt puse de istoricii contemporani ai ştiinţei într-o relaţie de continuitate directă cu unele tendinţe din filosofia naturii a primei jumătăţi a secolului, ca „dinamismul" (vezi A. Hermann /2/) sau „idealismul fizic" (vezi Ch. C. Gillispie /2/), tendinţe care l-au inspirat şi pe R. Mayer, reprezentau pentru Ostwald concluzia filosofică firească şi necesară a evoluţiei ştiinţifice inaugurate de descoperirea legii conservării şi transformării energiei [2]. Această iluzie „inductivistă" poate să explice atitudinea negativă a lui Ostwald faţă de speculaţiile dinamiste, şi faţă de

---

[1] Dimpotrivă, în scrierea lui găsim încercări de a sprijini filosofia energetistă a naturii de pe poziţiile unei concepţii empiriste, de nuanţă subiectivistă. „Ce ştim despre lumea fizică ? Evident, numai ceea ce ne provine prin mijlocirea instrumentelor noastre senzoriale. Care este însă condiţia pentru ca unul din aceste instrumente să lucreze ? Putem să învîrtim lucrurile cît vrem şi nu vom găsi nimic comun în afară de aceasta : *instrumentele senzoriale reacţionează la deosebiri de natură energetică între ele şi ambianţă.*" Şi mai departe : „Dacă tot ce aflăm despre lumea exterioară sînt raporturi energetice, ce temei avem să presupunem existenţa în această lume exterioară a ceva despre care nu am aflat nimic ? Mi s-a răspuns că energia este doar ceva gîndit, o abstracţie, în timp ce materia este realul ! Răspunsul meu este că lucrurile stau tocmai invers. Materia este un obiect al gîndirii *(Gedankending)* pe care ni l-am construit destul de imperfect pentru a reprezenta ceea ce este durabil în schimbarea fenomenelor. Cînd începem să înţelegem că realul, adică ceea ce acţionează asupra noastră, este doar energie, trebuie să examinăm în ce raport stau cele două noţiuni. Şi rezultatul este neîndoielnic că predicatul realităţii nu poate fi atribuit decît energiei." (W. Ostwald /1/, pag. 315.) Astăzi, asemenea încercări ne apar drept curiozităţi istorice. Ostwald nu a ezitat însă să le prezinte în faţa unui mare congres al naturaliştilor.

[2] Descoperirea lui R. Mayer ar fi reprezentat un pas hotărîtor în această direcţie, dar autorul ei ar fi fost departe încă de pătrunderea semnificaţiei filosofice a descoperirii sale, în toată amploarea şi generalitatea ei. Iar cercetătorii care au adus, după Mayer, cele mai mari contribuţii la elaborarea legii conservării energiei, i-ar fi denaturat cu totul sensul filosofic, încercînd s-o integreze în concepţia mecanicistă asupra naturii. (Vezi W. Ostwald /1/, pag. 313—314.)

Naturphilosophie în general, atitudine care îl surprinde fără îndoială pe cel ce cercetează astăzi sursele istorice ale concepției sale energetiste asupra naturii. (Vezi A. Hermann /2/, pag. 322.)

Destul de divizați deci, în măsura în care încercau să formuleze o concepție de ansamblu asupra naturii, energetiștii sînt uniți însă printr-o orientare fenomenalistă, radical antiesențialistă, care se exprimă în formula „științei naturii libere față de ipoteze". Din punct de vedere filosofic această orientare datorează mult influenței teoriei științei a lui Mach [3]. Ostwald a schițat, este adevărat, contururile unei teorii proprii a cunoașterii [4]. Dar atît Ostwald cît și Mach au trecut cu vederea deosebirile dintre concepțiile lor epistemologice generale, punînd accentul pe vederile lor comune în ceea ce privește orientarea și țelul științei teoretice, îndeosebi opunerea descrierii explicației, respingerea principială a atomismului și a tuturor ipotezelor care introduc entități și mărimi ce nu sînt direct observabile [5]. Ceea ce este explicabil, dacă ținem seama de faptul că amîndoi acordau prioritate concluziilor practice, urmărind înainte de toate influențarea gîndirii cercetătorilor. Există însă și o deosebire esențială, de mare interes pentru problema noastră. Dacă Mach întemeia un program științific pe o critică generală a cunoașterii științifice, mișcarea energetistă și-a tras seva și puterea de influențare în mediile științifice în primul rînd dintr-o interpretare determinată a unor evoluții științifice din ultimele decenii ale secolului trecut.

Dintre aceste evoluții trebuie să fie amintite, în primul rînd, succesele termodinamicii numite „fenomenologice", care renunță în mod premeditat la orice ipoteze cu privire la natura fenomenelor calorice, limitîndu-se la formularea de corelații funcționale între variabile direct accesibile observației și măsurării. Planck remarcase în una din lucrările sale istorico-filosofice (M. Planck /3/, pag. 3—4) că tot așa cum dezvoltarea concepției mecaniciste asupra naturii a primit un puternic sprijin prin elaborarea teoriei cinetice a gazelor, orientarea fenomenalistă, antimecanicistă în fizică a fost impulsionată, la sfîrșitul secolului trecut, îndeosebi de termodinamica fenomenologică. O vreme lucrurile au evoluat în așa fel încît chiar unii observatori imparțiali au putut fi înclinați să admită valoarea euristică superioară a abordării fenomenologice în raport cu cea atomistică[6]. Bunăoară, unele legi experimentale ale lichidelor și corpurilor solide au putut fi deduse în mod simplu din legile termodinamicii, în timp ce ele puteau fi derivate mai greu și numai cu aproximație din ipoteze atomistice. Îndeosebi ireversibilitatea pusă în evidență de cel de-al doilea principiu al termodinamicii părea să fie în contradicție cu atomistica și cu orice încercare de interpretare mecanică[7]. Așa cum vom vedea, atitudinea sceptică față de încercările ingenioase ale lui Boltzmann de a elabora o explicație statistică a celui de-al doilea principiu al termodinamicii era destul de larg răspîndită. Impresia că abordarea fenomenologică cîştigă teren în defavoarea celei atomiste nu putea să rămînă fără urmări asupra mentalităţii şi orientării fizicienilor vremii. Un efect deosebit a avut şi formularea dată de un cercetător de talia şi prestigiul lui Kirchhoff abordării fenomenologice în mecanică. În prefaţa *Lecţiilor de fizică matematică* (1876), Kirchhoff aprecia că este posibilă o expunere mai clară a legilor mecanicii dacă renunţăm la caracterizarea mecanicii drept o ştiinţă a forţelor şi la conceperea forţelor drept cauze ale mişcării. Formularea devenită celebră prin care Kirchhoff preciza ce limitări trebuie acceptate pentru a atinge acest obiectiv („... stabilesc ca sarcină a mecanicii, descrierea mişcărilor care au loc în natură, şi anume complet şi în modul cel mai simplu. Cu aceasta vreau să spun că nu este vorba decît de a arăta care sînt fenomenele care au loc şi nu de a descoperi cauzele lor" — G. Kirchhoff, p. III) a fost interpretată de mulţi contemporani ca un program general pentru ştiinţele exacte ale naturii. Pasul următor a fost, desigur, invocarea repetată a autorităţii lui Kirchhoff în sprijinul unei concepţii fenomenaliste asupra cunoaşterii fizice, aşa cum a fost formulată ea în lucrări ale lui Mach, Ostwald[8] şi ale altor autori care i-au secondat. Or, chiar dacă presupunem că Kirchhoff atribuia acestei directive o valabilitate generală, dincolo de interesele mult mai limitate ale unei expuneri sistematice a bazelor mecanicii, ceea ce este foarte problematic, implicarea lui în controversa filosofică dintre susţinătorii concepţiei esenţialiste şi fenomenaliste a cunoaşterii fizice nu devine încă plauzibilă. Căci fie şi o absolutizare a abordării fenomenologice, absolutizare care ar fi putut să pară oarecum justificată în acel moment istoric, ca reacţie faţă de utilizarea abuzivă şi arbitrară a ipotezelor atomiste, nu înseamnă încă o luare de poziţie în problema epistemologică generală a sensului şi ţelului cunoaşterii fizice. O asemenea absolutizare a putut în schimb favoriza audienţa unei anumite orientări epistemologice în mediile ştiinţifice. Se poate presupune că privilegierea abordărilor fenomenologice şi concepţia fenomenalistă a cunoașterii fizice, deși se situează pe planuri deosebite, reprezentînd puncte de vedere asupra unor probleme de natură diferită, s-au sprijinit reciproc[9]. Succesele abordării fenomenologice au dus întotdeauna la creșterea influenței filosofiei fenomenaliste și invers, influența acesteia asupra gîndirii cercetătorilor atrage după sine, în mod firesc, sporirea încrederii lor în perspectivele unei abordări fenomenologice a problemelor științifice ce le stau în față. Ascensiunea teoriei energetiste a cunoașterii fizice, în ultimul deceniu al secolului trecut, ca și declinul ei, începînd încă din primul deceniu al secolului nostru, în măsura în care reflectă succesele deosebite ale abordării fenomenologice și respectiv conștiința crescîndă a limitelor ei în diferite domenii ale cercetării fizice, reprezintă probabil cele mai convingătoare ilustrări istorice ale acestei corelații. Pe de altă parte, se poate presupune că tocmai situarea în prim plan a legăturii dintre o concepție filosofică generală asupra cunoașterii științifice și opțiunile strategice ale cercetării poate să explice, cel puțin în parte. de ce concluziile mai extremiste ale lui Ostwald cu privire la orientarea strategică a cunoașterii fizice, întemeiate pe considerații epistemologice mai fruste și mai superficiale, s-au bucurat totuși de o răspîndire mai largă în comparație cu punctele de vedere formulate în aceeași epocă de către Mach.

---

[3] Pentru sublinierea însemnătății acestei influențe, vezi, de exemplu, H. G. Könber, pag. 303.

[4] Vezi, îndeosebi, W. Ostwald /3/.

[5] Astfel Ostwald, care îi dedică lui Mach cea mai elaborată și sistematică dintre lucrările sale programatice, *Lecțiile de filosofie a naturii* (1902), îl menționează aici, alături de R. Mayer, drept „omul care i-a influențat în modul cel mai hotărîtor gîndirea". (W. Ostwald /3/, pag. 4.) Mach, la rîndul său, nota într-o schiță autobiografică, scrisă în 1913, că încă în primul său studiu istorico-critic, *Istoria și rădăcinile principiului conservării lucrului mecanic* (1872), a formulat și ideile de bază ale unei energetici generale „care nu se deosebește de cea a lui Ostwald prin nimic decît prin alegerea termenilor". (Vezi Fr. Herneck, pag. 213.)

---

[6] Pentru o caracterizare remarcabilă a opoziției dintre cele două abordări, vezi W. Voigt. Abordarea fenomenologică pornește de la presupoziția că „sarcina generală a teoriei este elaborarea legilor proceselor fizice prin raționamente riguroase, pe baza unui minimum de supoziții" (pag. 615). Exigența fundamentală a acestei abordări este ca noțiunile și principiile teoriei să fie luate exclusiv din „percepția directă" și ca deducția teoretică să se limiteze „la reducerea unor fenomene mai complicate la fenomene mai simple de același fel, a căror observare a permis formularea principiilor în cauză" (pag. 716). Dimpotrivă, abordarea atomistă introduce ipoteze despre realități fizice care „depășesc percepția directă, cuprind afirmații despre evenimente invizibile pe care ar trebui să se bazeze evenimentele vizibile" (pag. 716). Această abordare ilustrează aspirația de a ști ceva despre lumea care nu este direct accesibilă simțurilor noastre, aspirație ce a exercitat în toate timpurile o mare forță de atracție.

[7] Ostwald nu a omis acest argument în atacul său frontal împotriva „materialismului științific" : „Ireversibilitatea de fapt a fenomenelor naturale reale probează deci existența unor evenimente care nu pot fi reprezentate prin ecuații mecanice și cu aceasta sentința împotriva materialismului științific a fost pronunțată." (W. Ostwald /1/, pag. 313.)

---

[8] „Energetica este calea pe care cerinţa lui Kirchhoff de a înlocui aşa-numita explicaţie a naturii cu descrierea fenomenelor, cerinţă care a fost denaturată în atîtea feluri, poate fi satisfăcută potrivit adevăratei ei semnificaţii." (W. Ostwald /1/, pag. 318.)

Într-adevăr, Ostwald vorbea mai direct și mai convingător cercetătorului de rînd. Mai întîi, el specula prejudecățile empiriste și inductiviste, adînc înrădăcinate în mentalitatea omului de știință, într-o epocă încă apropiată de cea a confruntărilor violente cu pretențiile filosofiei speculative a naturii. În al doilea rînd, el oferea o interpretare a sensului istoric al dezvoltării cunoașterii fizice, care îi atrăgea pe cercetători nu numai prin accentul ei antispeculativ, ci și prin simplitatea și limpezimea ei didactică. În al treilea rînd, această interpretare era strîns corelată, cum am indicat deja, cu considerații practice privitoare la fertilitatea relativă a abordărilor metodologice concurente în soluționarea unor probleme științifice care se bucurau de o largă recunoaștere. Să considerăm, pe scurt, aceste elemente, care pot da socoteală de puterea de pătrundere și răspîndirea relativ rapidă a ideilor energetiste.

---

[9] Nu este de mirare, deci, că ele nu sînt adesea distinse. Referindu-se la starea de spirit dominantă în rîndul fizicienilor, îndeosebi în ultimele două decenii ale secolului trecut, un autor contemporan notează : „Numai puțini cercetători s-au putut sustrage descriptivismului lui Mach-Kirchhoff cu sublinierea economiei gîndirii, parcimoniei ontologice și cu neîncrederea lui față de mărimi inobservabile.“ (B. Kanitschneider, pag. 143.) Privilegierea abordărilor fenomenologice, caracteristică pentru poziția lui Kirchhoff, poziție care poate fi caracterizată în mod potrivit ca „descriptivă“, implică într-adevăr „neîncrederea față de mărimi inobservabile“. Dimpotrivă, principiul economiei gîndirii și al parcimoniei ontologice se plasează deja pe un alt plan. fiind elemente centrale în concepția fenomenalistă a cunoașterii fizice, dezvoltată de Mach. Această concepție nu mai poate fi atribuită în mod legitim și lui Kirchhoff.

Epistemologia lui Ostwald este empiristă, inductivistă și fenomenalistă. Teza empiristă indică sursa și baza oricărei cunoașteri autentice, cea inductivistă — căile pe care poate să fie obținută o asemenea cunoaștere, iar fenomenalismul, concluzia analizei epistemologice, reprezintă contestarea principială a valorii științifice a teoriilor care introduc entități ce nu sînt accesibile observației directe. Întemeierea concluziei fenomenaliste ne izbește astăzi doar prin platitudine, prin caracterul ei desuet. Conceptele și legile științifice sînt caracterizate de Ostwald ca o descriere abstractă a faptelor, care ia naștere prin neglijarea unora din determinările fenomenelor accesibile observației [10]. În opoziție cu asemenea concepte și legi, Ostwald numește *ipoteză* orice încercare de a ne ridica deasupra experienței, de a afirma ceva despre ceea ce se află „în spatele“ sau „deasupra“ fenomenelor [11], atribuindu-se realitate fizică unor determinări ce nu sînt date în observație și experiment. Distincţia dintre *legi* şi *ipoteze* este formulată cu referire la criteriul inductivist tradiţional ; spre deosebire de ipoteze, legile ar fi relaţii abstrase sau derivate din fenomene. Ostwald nu lasă nici o îndoială în această privinţă, citînd celebra formulare newtoniană a distincţiei dintre legităţi derivate din fenomene prin inducţie şi ipoteză, cu remarca că nici nu este posibilă o mai bună caracterizare a metodei cunoaşterii ştiinţifice din perspectivă energetică. (Vezi W. Ostwald /5/, pag. 129.) Dar poate chiar şi Newton ar fi ezitat în faţa formulărilor deosebit de îngroşate ale acestei distincţii, propuse de Ostwald două secole mai tîrziu [12].

---

[10] „Este neîndoielnic că relațiile descrise de legile naturii nu se regăsesc exact în realitate, căci acestea se raportează, ca toate produsele gîndirii noastre, la abstracții, adică la fenomene reale, minus anumite determinări ale acestora la a căror considerare renunțăm în mod conștient.“ (W. Ostwald /3/, pag. 206.) Termenul *realitate* desemnează în acest pasaj fenomenele accesibile observației, numite și *fenomenele reale (die wirklichen Erscheinungen)*. Expresia *legi ale naturii* este folosită în mod curent de Ostwald, ca și de alți autori, în sensul *legi ale științelor naturii.*

[11] Tendința de a considera enunțurile științei teoretice ca informații despre ceva care stă „deasupra fenomenelor“ este caracterizată de Ostwald ca o reminiscență a concepției platonice a științei. „În opoziție cu această concepție, se vede astăzi tot mai clar că legea naturii nu este de căutat deasupra fenomenelor ci în fenomene, că ea nu are țelul de a decreta ce trebuie să se întîmple într-un anumit caz, ci să arate ce se întîmpină de fapt.“ (W. Ostwald, /2/, pag. 4.)

Concluzia ce se impune este pe cît de evidentă pe atît de radicală : ipotezele, în acest sens al cuvîntului [13], nu sînt numai lipsite de utilitate, ci şi nocive şi trebuie, prin urmare, să fie eliminate din ştiinţă. Ostwald merge mai departe decît Mach prin rigiditatea criteriului distincţiei pe care o operează între enunţurile cu valoare cognitivă şi aşa-numitele ipoteze, cît şi prin contestarea oricărei utilităţi a acestora din urmă. „Un argument în favoarea ipotezelor, pe care susţinătorii lor obişnuiesc să-l considere de necontestat, este indicaţia că datorită lor au reuşit multe descoperiri frumoase. La aceasta pot doar să răspund că fără aceste ipoteze cercetătorii ar fi realizat probabil mai mult. Descoperirile au reuşit nu datorită ipotezelor, ci în ciuda lor, căci descoperirile reuşesc întotdeauna datorită faptelor, şi nu a presupunerilor.“ (W. Ostwald /3/, pag. 215.) Este greu ca lucrurile să fie spuse mai limpede şi mai apăsat. Ipotezele explicative îi apar lui Ostwald ca un balast, ca un adaos de prisos care poate să frîneze dacă nu să zădărnicească, pînă la urmă, progresul cunoaşterii pozitive. Ostwald echivalează adesea, în scrierile sale, *ipoteticul* cu *metafizicul* ; din punctul lui de vedere, interesul pentru *ipoteze* nu poate fi deci decît compromiţător pentru un om al ştiinţei pozitive.

---

[12] „Adeseori, ce-i drept, şi ipotezele apar în învelişul prezentării matematice, şi ţinînd seama de realităţile actuale ale ştiinţei, este important să putem vedea imediat, în cazul unei formule care ni se prezintă, dacă ea conţine sau nu o ipoteză. Reţeta pe care o oferim în acest scop este foarte simplă. *Cînd fiecare mărime ce intervine în formulă este măsurabilă,* sîntem în faţa unei formule durabile sau a unei legi a naturii, (presupunînd că ea redă fidel relaţiile dintre mărimi, stabilite prin experienţă) ; dacă dimpotrivă în formulă intervin mărimi ce nu sînt măsurabile, atunci este vorba de o ipoteză în haină matematică şi viermele stă deci în fruct. De exemplu, în teoria cinetică a gazelor presiunea este exprimată prin formula $pv = \frac{1}{2} mnc^2$. Dacă aplicăm criteriul nostru, rezultă că partea stîngă a formulei cuprinde mărimile măsurabile ale presiunii p şi volumului v. Partea dreaptă cuprinde, dimpotrivă, mărimile nemăsurabile m = masa unei molecule, n = numărul moleculelor şi c = viteza moleculelor. Prin urmare, formula exprimă o ipoteză, nu o lege a naturii.“ (W. Ostwald /3/, pag. 214.)

[13] Ostwald acceptă, este adevărat, utilitatea *ipotezei de lucru (working hypothesis)* în cercetarea ştiinţifică. Aceasta nu-şi propune cîtuşi de puţin să explice legile, corelaţiile funcţionale constante dintre fenomene, ci este o presupunere provizorie cu privire la o corelaţie de acest fel. (Vezi W. Ostwald /3/, pag. 215.) Ostwald numeşte *ipoteza de lucru* şi *protoipoteză.*

Privind spre trecut, distincţia dintre ipotezele explicative şi legile ştiinţei ne permite, crede Ostwald, să dăm socoteală de existenţa elementelor de continuitate şi de discontinuitate în evoluţia unei discipline şi să degajăm o reprezentare clară asupra sensului progresului cunoaşterii ştiinţifice. „Există aşadar rezultate ştiinţifice care rezistă neschimbate şi alături de ele altele efemere ; cum le putem deosebi ? Răspunsul poate fi dat îndată : legile naturii sînt durabile, ipotezele sînt trecătoare.“ (W. Ostwald /3/, pag. 211.) Dezvoltarea istorică a cunoaşterii s-ar caracteriza printr-o continuitate deplină atît timp cît considerăm conţinutul cognitiv propriu-zis al unei discipline ştiinţifice, adică conceptele şi legile ştiinţifice. O lege ştiinţifică formulată la un moment dat nu va fi niciodată respinsă ca falsă în dezvoltarea ulterioară a disciplinei. Singura schimbare posibilă va fi considerarea ei drept un caz particular al unei legi mai generale. Impresia că în dezvoltarea istorică a unei discipline ştiinţifice există o discontinuitate pronunţată provine din considerarea unilaterală a teoriilor explicative, care nu aparţin conţinutului cognitiv propriu-zis al disciplinei. Acestea se neagă şi se contrazic reciproc ; o nouă teorie explicativă o declară pur şi simplu falsă pe cea precedentă şi o înlătură fără să-i găsească vreo îndreptăţire [14].

---

[14] Scrierile lui Ostwald abundă în exemple ce intenţionează să ilustreze continuitatea în dezvoltarea conţinutului cognitiv al unei discipline ştiinţifice, în contrast cu lipsa oricărui progres în succesiunea istorică a teoriilor explicative. Valoarea opticii geometrice, de exemplu, constă exclusiv în predicţiile pe care le-a formulat cu privire la comportarea razelor de lumină, şi nu în ipotezele despre esenţa luminii ; rezultatele pozitive ale

Ne găsim aici în fața unei viziuni generale asupra dezvoltării istorice a ideilor științifice care ar putea fi exprimată lapidar prin formula : „teoriile explicative trec, legile științifice rămîn“. În această viziune cunoașterea științifică se dezvoltă cumulativ, iar progresul ei apare ca pe deplin continuu și liniar. Faptele și legile științifice se alătură unele altora sau se subsumează unele altora, fără să se contrazică. O perspectivă relativistă asupra devenirii istorice a cunoașterii științifice nu poate fi justificată decît prin considerarea succesiunii teoriilor explicative care pretind să ne dezvăluie o iluzorie „esență a fenomenelor“. Lipsa de temei a unei asemenea perspective devine clară odată ce înțelegem că ea se sprijină pe confundarea teoriilor explicative cu faptele și legile care reprezintă conținutul cognitiv autentic al oricărei discipline științifice.

O interpretare asemănătoare a dezvoltării istorice a cunoașterii științifice a fost elaborată în mod independent de reputatul istoric și filosof francez al științei Pierre Duhem. Apropierea dezvăluie motive pozitiviste comune în gîndirea celor doi autori în ciuda deosebirilor sensibile între concepțiile lor epistemologice [15]. Spre deosebire de Ostwald, Duhem distinge clar între legi și teorii științifice. Teoriile științifice, în sensul pe care îl dă el acestui termen, nu au însă nimic comun cu încercările de a explica fenomenele prin referire la entități inaccesibile observației. „O teorie fizică nu este o explicație. Ea este un sistem de propoziții matematice, deduse dintr-un mic număr de principii, care au ca scop de a reprezenta cît mai simplu, complet și exact posibil un ansamblu de legi experimentale.“ (P. Duhem /1/, pag. 26.) Duhem admite, ca fapt istoric, că fizicienii geniali ai trecutului au construit teorii cu scopul de a

---

opticii geometrice nu au fost de aceea afectate de tranziția de la teoria corpusculară la teoria ondulatorie a luminii. Legile stoechiometrice, scria Ostwald, vor dăinui în chimie atunci cînd atomii nu vor mai fi de găsit, de mult, decît în praful bibliotecilor, iar teoria lui Ohm despre propagarea curentului electric își va conserva configurația oricare ar fi reprezentările pe care le poate aduce viitorul cu privire la „esența“ electricității. (Vezi W. Ostwald /3/, pag. 211.) Teoriile astăzi depășite au fost deci fertile prin conținutul lor pozitiv și dăunătoare prin elementele lor ipotetice. (Vezi W. Ostwald /1/, pag. 311.)

[15] Duhem a adus contribuții importante în teoria științei, delimitîndu-se de concepțiile inductiviste, dominante în tradiția pozitivistă a epocii.

explica fenomenele. Dar aceasta nu dovedește nimic, căci „speranțe himerice au putut să provoace descoperiri admirabile, fără ca aceste descoperiri să confere realitate himerelor care le-au făcut să se nască". (P. Duhem /2/, pag. 46.) O analiză mai atentă a oricărei teorii fizice, create pentru a explica fenomenele, dezvăluie că aceasta este constituită din două părți distincte : o parte *reprezentativă*, care realizează o ordonare, o sistematizare a legilor experimentale și conduce la predicția unor legi noi, și o parte propriu-zis *explicativă*, care își propune să descrie o realitate „ce stă în spatele fenomenelor". Partea explicativă a unor teorii fizice este caracterizată de Duhem ca un parazit ce se lipește de partea ei reprezentativă. Considerînd din acest punct de vedere succesiunea istorică a teoriilor fizice, vom constata un contrast puternic între continuitatea elementelor ei reprezentative și lipsa oricărui progres în ceea ce privește explicațiile. „Cînd progresul fizicii experimentale contrazice teoria și face necesară modificarea, transformarea ei, partea pur reprezentativă intră aproape întreagă în teoria nouă, aducîndu-i moștenirea a tot ceea ce vechea teorie posedă mai prețios, în timp ce partea explicativă cade pentru a face loc unei noi explicații." Astfel continuitatea în dezvoltarea cunoașterii fizice „este mascată, în ochii observatorului superficial, de zarva neîntreruptă pe care o provoacă explicațiile, ce nu apar decît pentru a se prăbuși". (P. Duhem /2/, pag. 48.) Duhem vedea în teoriile atomiste ale vremii o recrudescență a tendințelor metafizice, speculative în știință și califica reactia lui Mach și a altor fizicieni antiatomiști ca o reîntoarcere la „doctrinele sănătoase" ale lui Newton. (Vezi P. Duhem /2/, pag. 92.) Surprinzător pentru autorul unei epistemologii complexe și nuanțate, cu multe elemente viabile, Duhem a fost la începutul secolului nostru cel mai influent susținător și propagator francez al concepției fenomenaliste a cunoașterii fizice, legată în primul rînd de numele lui Mach și al lui Ostwald.

Capitolul IV

Permise şi implicaţii filosofice ale controversei ştiinţifice în jurul atomisticii

Interpretările filosofice ale sensului dezvoltării istorice a cunoaşterii ştiinţifice, elaborate de mari oameni de ştiinţă creatori, au fost întotdeauna subordonate unor obiective practice de justificare a orientării ştiinţifice sau de reformă, de reorientare a cunoaşterii, şi unor intenţii polemice. Opera istorico-critică a lui Ostwald este strîns legată de lupta lui împotriva ipotezelor atomiste. Această intenţie, care străbate toate lucrările istorice şi filosofice ale lui Ostwald, a primit o expresie concentrată în celebra lui cuvîntare la Congresul naturaliştilor de la Lübeck din 1895, intitulată semnificativ *Înfrîngerea materialismului ştiinţific* [1].

Ostwald îşi desfăşoară argumentarea sistematic, aproape didactic, de la principii la consecinţe. Cele două orientări rivale — energetismul şi atomismul — sînt evaluate în lumina unei concepţii generale despre sensul şi ţelul cunoaşterii ştiinţifice. „A pune realităţi, mărimi concrete şi măsurabile, într-o anumită corelaţie astfel că dacă unele sînt date celelalte pot fi deduse, aceasta este ţinta ştiinţei ; ea nu poate fi atinsă prin producerea vreunui tablou ipotetic al naturii, ci numai prin probarea dependenţei reciproce a mărimilor măsurabile." (W. Ostwald /1/, pag. 313.) În discuţia ce a avut loc după expunerea lui Ostwald, opoziţia dintre atomism şi energetism, ca două orientări strategice ale cunoaşterii fizice ce decurg din concepţia esenţialistă şi respectiv fenomenalistă, a fost pusă în evidenţă de către acesta prin următorul exemplu elementar. Să ne închipuim două pîrghii care se îmbucă într-o cutie închisă. Observația și experimentul ne permit să stabilim o legătură funcțională determinată între mișcarea acestor pîrghii, și anume, o dependență precisă între mărimea vitezei primei și a celei de a doua. Fizicianul de orientare energetistă se va mulțumi cu cunoașterea acestei corelații funcționale și cu predicțiile pe care le face posibile. Adversarul său, susținătorul atomismului, va cere însă mai mult, considerînd cunoașterea mecanismului intern al corelării pîrghiilor drept o sarcină importantă și insistînd, în general, asupra însemnătății explicării legilor experimentale. Situația imaginată ne-ar arăta, și aici ies clar în evidență premisele epistemologice ale atacului lui Ostwald împotriva atomisticii, că așa-numita explicație a legii nu sporește cu nimic cunoașterea noastră. Căci ipotezele asupra mecanismului ce leagă între ele cele două pîrghii sînt nu numai incontrolabile, ci și inutile, fiindcă nu adaugă nimic la ceea ce știm deja. Oricare ar fi ipoteza pe care am accepta-o, predicțiile noastre vor rămîne aceleași. (Vezi W. Ostwald /6/, pag. 182—183.) Elaborarea teoriilor explicative, în particular a unor explicații atomiste, este apreciată deci ca o întreprindere de prisos fiindcă depășește sarcinile legitime ale cunoașterii fizice și ca dăunătoare în măsura în care-l abate pe cercetător de la sarcinile sale firești și îi consumă în mod steril energia [2]. Pe plan metodologic, aceasta echivalează cu absolutizarea abordării fenomenologice a problemelor științifice și cu respingerea principială a abordării atomistice, pe temeiul presupusei sterilități inerente acestei abordări [3].

---

[1] Expresia *materialism ştiinţific* vizează aici concepţia despre lume a atomismului mecanicist, şi anume punctul de vedere „că lucrurile se compun din atomi în mişcare şi că aceşti atomi, şi forţele care acţionează între ei, ar fi ultimele realităţi din care ar consta fenomenele singulare". (W. Ostwald, /1/, pag. 305.)

---

[2] Fie și numai dezinteresul pentru *explicație* și respingerea oricăror ipoteze devine astfel un avantaj pentru cercetător. În prefața *Lecțiilor de filosofie a naturii,* cititorul este avertizat că autorul „s-a străduit să scrie o carte în care nu este formulată sau utilizată nici o ipoteză". (W. Ostwald /3/, pag. VIII.)

[3] „Nu ne mai punem întrebări privitoare la forțe ce acționează între atomi, forțe a căror realitate nu o putem dovedi, pe care nu le putem observa, ci ne întrebăm, dacă vrem să judecăm un eveniment, care este specia și mărimea energiei emanate și absorbite. Acestea putem să le măsurăm și tot ce trebuie să știm poate fi exprimat în acest fel." (W. Ostwald /1/, pag. 318.) Foarte semnificativă, în acest pasaj, este echivalența presupusă între „dovedirea" realității unei forțe fizice și „observarea ei", echivalență ce constituie un element central al concepției fenomenaliste asupra cunoașterii fizice.

În mod practic, obiectivele principale ale ofensivei energetiste au fost teoria mecanică a căldurii, în speță teoria cinetică a gazelor, interpretarea atomistă a celui de al doilea principiu al termodinamicii, propusă și apărată de Boltzmann, și ipotezele atomiste în chimie. Calificînd teoria cinetică a gazelor ca „sterilă" și respingînd interpretarea statistică a principiului creșterii entropiei, Ostwald a angajat energetismul chiar într-o măsură mai mare decît a făcut-o Mach în disputele metodologice ale momentului.

Intervenția lui Ostwald la Congresul de la Lübeck a declanșat o controversă vie, cu accente polemice ascuțite între apărătorii și adversarii ideilor atomiste. În această controversă, oponentul principal al lui Ostwald a fost marele fizician vienez Ludwig Boltzmann, care aprecia propaganda energetistă ca un mare pericol pentru progresul cunoașterii fizice și în special pentru viitorul copilului său favorit, teoria cinetică a gazelor. Este adevărat că la întrunirea de la Lübeck concepția energetistă nu s-a bucurat de o primire favorabilă. Aceasta reiese chiar din relatările ulterioare ale lui Ostwald. Punctul său de vedere cu privire la orientarea strategică a cercetării fizice a fost apărat doar de G. Helm și atacat vehement de către Boltzmann, secondat de Klein, Nernst și de alți participanți la conferință. (Vezi și scrisorile lui G. Helm către soția lui din 17 și 19 septembrie 1895, în H. G. Körber, pag. 118—120.) Discuția care a avut loc la congres, polemica ce s-a desfășurat în anii următori în cîteva publicații de specialitate, precum și scrierile lui Ostwald și Helm destinate unui cerc mai larg de cititori au făcut însă ca ideile „fizicii energetice" să devină tot mai cunoscute și să exercite o influență crescîndă la hotarul ce desparte cele două secole.

Această situație s-a datorat, dincolo de talentul literar și polemic al lui Ostwald, în primul rînd unor caracteristici ale stării momentane a cercetării fizice, cum ar fi slabul progres pe care l-au înregistrat în această perioadă cercetări conduse de ipoteze atomiste în cîteva domenii de mare interes ale fizicii teoretice[4], unele reusite ale abordărilor fenomenologice[5] și îndeosebi opoziția puternică de care s-a izbit, și dincolo de cercul simpatizanților energetismului, interpretarea atomistă a celui de al doilea principiu al termodinamicii. În jurul anului 1880, explicația mecanică a căldurii era susținută încă de cele mai mari autorități din fizica germană, H. von Helmholtz, R. Clausius și G. Kirchhoff, dar în ultimul deceniu al secolului situația se schimbase destul de mult. L. Boltzmann, cel mai de seamă protagonist al teoriei, se găsea într-o izolare tot mai mare. Este foarte semnificativ că un fizician teoretician ca M. Planck, care nu a avut din capul locului simpatie față de energetism și a polemizat cu Ostwald (vezi M. Planck /1/), tindea să favorizeze abordările fenomenologice și manifesta o rezervă pronunțată față de ideile atomiste. În 1891, la Congresul naturaliștilor și medicilor germani de la Halle, Planck aprecia că dezvoltarea teoriei cinetice a gazelor este incertă și nesigură. Unii istorici contemporani ai științei atribuie lipsa de simpatie pe care a manifestat-o Planck față de ideile atomiste pînă în jurul anului 1900 influenței pe care a exercitat-o asupra gîndirii sale filosofia fizicii a lui Mach[6]. Oricum am aprecia această sugestie, este important de subliniat că atitudinea lui Planck față de atomism a fost determinată în primul rînd nu de considerații epistemologice generale cu privire la sensul și țelul a ceea ce el numea științe exacte, ci de opțiuni științifice al căror substrat

---

[4] Analiza comparativă a fertilității abordării atomiste și fenomenologice, pe care o face W. Voigt, într-o lucrare publicată în 1915, a evidențiat că, dincolo de dificultățile de ordin principial pe care trebuie să le învingă abordările atomiste (obsta-

---

colele extraordinare care se ridică în calea controlului experimental al ipotezelor despre constituția moleculelor și interacțiunea lor, precum și cele ce trebuie depășite pentru a face posibilă tratarea matematică chiar a celor mai grosolane presupuneri cu privire la proprietățile moleculelor și atomilor), au intervenit și împrejurări mai mult sau mai puțin accidentale care au făcut ca abordarea atomistă a unor domenii, ca cele ale elasticității și hidrodinamicii, ale electricității, magnetismului și opticii, să nu dea, la un moment dat, rezultatele așteptate de susținătorii lor. (Vezi W. Voigt, îndeosebi pag. 727—729.)

[5] Ostwald sublinia cu deosebire succesul abordărilor fenomenologice în așa-numita termodinamică pură și în teoria electricității. (Vezi W. Ostwald /3/, pag. 116.)

[6] Vezi R. Jost, pag. 130. Planck însuși a menționat o asemenea influență, dar a plasat-o la începuturile activității sale academice. El amintea, în cursul polemicii sale cu Mach, că în perioada șederii sale la Kiel (1885—1889) nu numai că a studiat atent teoria cunoașterii fizice a lui Mach, dar a fost și unul „din susținătorii ei cei mai hotărîți“. (Vezi M. Planck /4/, pag. 498.)

filosofic este însă neîndoielnic. După propria mărturisire, Planck a fost condus în prima perioadă a activității sale de cercetare, pînă la descoperirea sa epocală din 1900, de convingerea în valoarea absolută a celor două principii ale termodinamicii[7]. Or, așa cum au arătat nu numai cercetările istorice mai recente (vezi R. Jost și A. Hermann /1/), ci a remarcat chiar Planck[8], spre sfîrșitul activității sale, un asemenea angajament conducea în mod constrîngător la o atitudine nefavorabilă față de atomism. Boltzmann, a cărui realizare științifică capitală a fost fundamentarea atomistă a celui de al doilea principiu al termodinamicii, legase strîns soarta atomisticii de acceptarea acestei interpretări. Era clar că susținerea valorii absolute a legii creșterii entropiei nu putea fi împăcată cu interpretarea ei statistică. Așa se face că un fizician teoretician care atribuia o valoare absolută legii a doua, altfel spus considera această lege ca o axiomă, trebuia să aprecieze încercările de a-i da o fundamentare atomistică ca fiind lipsită de orice perspectivă. Planck a fost conștient de această corelație chiar de la începuturile carierii sale științifice, anticipînd controversele de mai tîrziu, într-un mod care i-ar putea apărea aproape profetic unui cititor de astăzi care nu este bine familiarizat cu fundalul istoric[9].

Cazul lui Planck este extrem de instructiv, fiindcă arată cum situarea pe pozițiile termodinamicii fenomenologice, considerarea legii a doua a termodinamicii ca un principiu axiomatic, atrăgea după sine adoptarea unei poziţii apropiate de cea a energetismului în controversa extrem de ascuţită care a avut loc în ultimul deceniu al secolului nostru cu privire la locul acestei legi în sistemul fizicii teoretice. Planck, ca şi alţi fizicieni teoreticieni, considera că ar fi posibilă derivarea pe baza teoriei gazelor şi a legilor mecanicii clasice a unui enunţ care contrazice formal cel de-al doilea principiu al termodinamicii. (Vezi A. Hermann /1/, pag. 29.) Era deci cu totul firesc ca Planck să-l încurajeze pe asistentul său E. Zermello să publice în 1896 o critică a întemeierii aşa-numite teoreme H a lui Boltzmann, critică care a provocat riposta imediată a acestuia [10]. Înţelegem astfel cum s-a putut întîmpla ca Boltzmann, care lucra mai departe după principii aproape general acceptate la începutul deceniului nouă, să fie confruntat cu scepticismul sau reticenţa unui număr tot mai mare de cercetători reputaţi, dincolo de cercurile mai înguste ale susţinătorilor apropiaţi ai lui Mach, Ostwald şi Helm. Unii istorici au caracterizat această situaţie, care s-a creat în ultimul deceniu al secolului trecut, prin expresia puţin fericită de „criză a atomismului". (Vezi R. Jost.) Energetiştii vorbeau într-adevăr, în aceşti ani, de o criză a atomismului, dar o asemenea caracterizare reprezintă totuşi o dramatizare nejustificată a situaţiei. Ceea ce avea loc de fapt era o situaţie care survine nu rareori în istoria ştiinţelor teoretice : dificultăţile temporare în realizarea obiectivelor unui anumit program de cercetare

---

[7] Planck caracteriza această convingere, într-o scrisoare din 7 octombrie 1931, adresată unui coleg englez, în următoarele cuvinte : „Cele două principii ale teoriei căldurii mi-au apărut ca fiind unicul lucru care trebuie conservat în toate împrejurările. În rest eram pregătit la orice jertfă față de convingerile mele de pînă acum.“ (Vezi A. Hermann /1/, pag. 11.)

[8] „Căci Boltzmann știa foarte bine că punctul meu de vedere era în mod esențial diferit de al său. Îl supăra îndeosebi că eu mă raportam la teoria atomistă, care a constituit temelia întregii sale munci de cercetare, nu numai indiferent ci chiar cam negativ. Aceasta își avea temeiul în faptul că eu atribuiam pe atunci aceeași valabilitate, fără excepții, legii creșterii entropiei, ca și principiului conservării energiei, în timp ce lui Boltzmann acest principiu îi apărea numai ca lege probabilistă, care permitea, ca atare, și excepții. Mărimea H poate să și crească uneori.“ (M. Planck /13/, pag. 21.)

[9] În disertația lui publicată în 1881, *Despre cea de-a doua lege a teoriei mecanice a căldurii*, Planck scria textual : „Cel de-al doilea principiu al termodinamicii, dezvoltat consecvent, este incompatibil cu ipoteza atomilor finiți. Este de aceea de prevăzut că în dezvoltarea viitoare a teoriei va avea loc o înfruntare între aceste două ipoteze, care va costa viața uneia

---

dintre ele." (Vezi R. Jost, pag. 131.) Expresia „teoria mecanică a căldurii" din titlul disertaţiei trebuie apreciată drept o concesie făcută modei verbale a momentului ; Planck are în vedere, evident, cum rezultă din citatul de mai sus, termodinamica fenomenologică.

[10] „Într-adevăr, în calculul lui Boltzmann lipsea menţionarea presupoziţiei dezordinii moleculare, indispensabilă pentru valabilitatea teoremei sale. El o presupune ca ceva de la sine înţeles. În orice caz, el a răspuns tînărului Zermello cu ascuţime muşcătoare, din care o parte mă atingea şi pe mine însumi, căci lucrarea lui Zermello apăruse cu încuviinţarea mea. Aşa s-a întîmplat că Boltzmann a păstrat toată viaţa, atît în publicaţiile sale, cît şi în corespondenţa noastră privată, un ton iritat faţă de mine, care s-a transformat într-o aprobare prietenească abia în ultima perioadă a vieţii sale, cînd i-am relatat despre întemeierea atomistă a legii mele a radiaţiei." (M. Planck /13/, pag. 21.)

sînt interpretate de obicei drept indicii ale „crizei“ sau ale „eşecului“ de către promotorii şi aderenţii unei orientări strategice diferite. Confruntarea între susţinătorii unor strategii ştiinţifice distincte capătă însă caracteristici aparte, care o deosebesc de discuţiile şi divergenţele curente cu privire la fertilitatea prezumtivă a unor orientări diferite, ori de cîte ori judecata celor două părţi asupra căilor „sănătoase“ şi promiţătoare ale cercetării izvoreşte din supoziţii filosofice fundamentale şi ireconciliabile. Este şi cazul, sau este prin excelenţă cazul, confruntării dintre apărătorii şi adversarii ideilor atomiste, care a căpătat o amploare şi o ascuţime polemică deosebite în ultimul deceniu al secolului trecut. Teoria cinetică a gazelor şi interpretarea statistică a celui de al doilea principiu al termodinamicii s-au izbit tot mai mult de scepticismul sau de ostilitatea nedisimulată ale fizicienilor care promovau sau susţineau o orientare fenomenalistă a cercetării fizice, întărită de atitudinea celor ce atribuiau o valoare axiomatică principiilor termodinamicii. O direcţie de cercetare era ameninţată să fie înăbuşită prin efectul conjugat al unei critici filosofice întemeiate pe tezele programatice ale creatorilor teoriei „critice“ a cunoaşterii fizice — înlocuirea teoriilor atomiste cu teorii pur descriptive, care utilizează numai variabile macroscopice — şi al unei opoziţii surde inspirată de supoziţii filosofice latente, în mare măsură tacite, ale unui cerc mai larg de cercetători care se situau critic faţă de mecanicismul tradiţional, mai ales sub influenţa rezultatelor obţinute prin tratarea strict fenomenologică a problemelor termodinamicii. Tragedia lui Boltzmann, care şi-a consacrat talentul excepţional îndeosebi cercetărilor în domeniul teoriei cinetice a gazelor, este o lecţie istorică unică în felul ei cu privire la ameninţarea pe care o pot reprezenta convingeri filosofice adînc înrădăcinate în mintea unor membri influenţi ai comunităţii ştiinţifice pentru soarta unui program de cercetare.

Ca şi alte mari personalităţi creatoare care au ilustrat fizica teoretică de la sfîrşitul secolului trecut şi începutul secolului nostru, oameni care erau beneficiarii unei solide culturi clasice şi ai unui contact intelectual strîns cu reprezentanţi de frunte ai culturii umaniste a vremii, lui Boltzmann nu i-au fost străine nici interesele și nici preocupările filosofice[11]. Totuși apărarea ideilor și a metodelor atomiste în scrierile lui metodologice nu este una propriu-zis filosofică, epistemologică, ci ar putea fi caracterizată mai bine drept *pragmatică*. Boltzmann a recurs, este adevărat, în disputele lui cu energetiștii, și la argumente filosofice. Într-un pasaj, citat parțial de Lenin în *Materialism și empiriocriticism*, Boltzmann observa, de exemplu, cu referire la ceea ce numea „noile dogme ale teoriei cunoașterii“, că noțiunile și enunțurile științifice se situează pe alt plan decît percepțiile directe ale simțurilor și că luarea în serios a interdicției de a depăși aceste percepții ar face imposibilă orice cunoaștere. (Vezi L. Boltzmann /1/, pag. 74—75.)[12] Asemenea pasaje rămîn totuși izolate. Evident, Boltzmann a preferat argumentele pragmatice. El nu a întreprins un efort sistematic în direcția fundamentării filosofice a atomismului și a criticii cu argumente epistemologice a teoriei energetiste și machiste a cunoașterii fizice. Cred că trebuie să ținem seama de unele împrejurări care explică, cel puțin într-o anumită măsură, această opțiune.

---

[11] În anul 1903, Boltzmann a fost invitat să susțină un ciclu de lecții de filosofia naturii la Universitatea din Viena, urmînd unei tradiții stabilite de Mach. În prelegerea inaugurală, el sublinia că munca teoretică în știință nu poate fi despărțită de situări și luări de poziții filosofice, observînd, cu umorul său caracteristic, că „dacă Moltke a fost ales membru al Academiei berlineze la secția de istorie nu pentru că a scris istorie, ci pentru că a făcut istorie, poate am fost ales și eu nu pentru că scriu despre logică, ci pentru că aparțin unei lumi științifice în care practica zilnică înseamnă tot atîtea ocazii pentru cea mai ascuțită logică“. Și mai departe : „Toate direcțiile metafizicii au fost cercetate și s-a încercat desființarea lor din rădăcini. Această intenție nu a fost însă de lungă durată. Metafizica pare să exercite o influență irezistibilă asupra intelectului uman și își menține puterea în pofida nenumăratelor încercări nereușite de a o combate. Tendința spre filosofie pare să fie înnăscută în noi. Nu numai Robert Mayer s-a dedicat filosofiei, el fiind și filosof, ci și Maxwell, Helmholtz, Ostwald și mulți alții s-au jertfit filosofiei de bunăvoie.“ (L. Boltzmann /6/, pag. 187—188.) Pentru a aprecia în modul cuvenit asemenea judecăți, nu trebuie să pierdem din vedere că ele au fost formulate într-o epocă în care ostilitatea sau indiferența față de filosofia profesorală și față de filosofii profesioniști erau caracteristice pentru mentalitatea științifică dominantă.

[12] Observații asemănătoare întîlnim și în alte lucrări. „Dacă fenomenologia crede că poate explica natura fără să treacă întrucîtva dincolo de experiență, eu socotesc că acest lucru este o iluzie. Nici o ecuație nu descrie absolut exact vreun proces. Fiecare idealizează, scoate în evidență lucruri comune și neglijează diferențele, transcede deci experiența. Că acest lucru este necesar, pentru a avea o concepție care să ne permită să facem previziuni, rezultă din însăși natura procesului de gîndire, care constă în faptul că adăugăm ceva la experiență și creăm o imagine mintală care nu este experiență și de aceea poate reprezenta multe experiențe.“ (L. Boltzmann /5/, pag. 137.)

Boltzmann era profund convins că acceptarea în principiu a programului energetist și machist ar echivala cu neglijarea sau chiar cu trecerea în uitare deplină ale unor rezultate științifice valoroase și cu abandonarea unor direcții promițătoare ale cercetării[13]. Miza confruntării i s-a părut lui Boltzmann prea mare pentru ca el să nu evalueze cu maximă precauție care ar fi calea cea mai potrivită din punct de vedere tactic pentru a preveni o asemenea eventualitate. Era evident că deznodămîntul confruntării va depinde de atitudinea „majorității tăcute“ a fizicienilor, inclusiv a unor cercetători cu mare prestigiu care evitaseră pînă atunci o luare de poziție în controversele metodologice[14]. Întrebarea era, în acest caz, care ar fi genul de argumente în măsură să ofere mai multe șanse de a cîștiga sprijinul acesteia. Nu este surprinzător că un om care cunoștea atît de bine lumea cercetării și mentalitatea cercetătorilor a acordat prioritate argumentelor pragmatice față de cele general filosofice. Căci nu există o cale mai eficientă de a-l mobiliza pe cercetător pentru sau împotriva unei poziții metodologice generale și a orientării strategice ce derivă din această poziție, decît aceea de a-l convinge că ele sînt de natură să favorizeze sau să dăuneze progresului cercetării. Pe de altă parte, Boltzmann nu a reușit să elaboreze o nouă fundamentare filosofică a atomismului. În linii mari, el a rămas pe pozițiile programului mecanicist, care își propunea explicarea tuturor fenomenelor fizice — a căldurii, a luminii, a electricității și a magnetismului — prin proprietățile mecanice și mișcarea mecanică a particulelor materiale și a eterului. Faptul că a respins „fundamentarea metafizică și dogmatică a atomisticii" (vezi L. Boltzmann /4/, pag. 84) și a ridiculizat utilizarea abuzivă, arbitrară a ipotezelor atomiste, subliniind că critica energetistă nu aduce în această privință nimic nou față de ceea ce știu din propria lor activitate toți fizicienii teoreticieni de prim rang, ca și disponibilitatea lui principială, insistent declar atomismul și concepția esențialistă a cunoașterii fizice, în general, de concepția mecanicistă asupra naturii și de esențialismul mecanicist.

---

[13] În prefața celei de a doua părți a *Lecțiilor de teoria gazelor*, Boltzmann scrie că ar fi regretabil ca teoria cinetică a gazelor să cadă în uitare ca urmare a ostilității generale, tot așa cum în trecut opoziția lui Newton a făcut ca teoria ondulatorie a luminii să fie un timp neglijată. (Vezi L. Boltzmann /2/, pag. VII—VIII.)

[14] Energetiștii și machiștii încercau, pe calea unei intense propagande, să ralieze la programul lor această „majoritate tăcută“, masa cercetătorilor, care după aprecierea lui Lenin adopta în mod spontan „un punct de vedere materialist“. Pe de altă parte, se pare că Boltzmann și alți fizicieni reputați, atașați încă orientării mecaniciste tradiționale (vezi în această privință răspunsul dat de francezul A. Cornu punctului de vedere expus de Ostwald la Lübeck în *Revue générale de sciences pures et appliquées*, 15 decembrie 1895, sub titlul *Cîteva cuvinte de răspuns la „Înfrîngerea atomismului științific“)*, erau alarmați de pasivitatea cercurilor largi ale cercetătorilor față de ofensiva antiatomistă în plină desfășurare. Așa s-ar putea explica faptul, în aparență paradoxal, că ambele partide se plîngeau de izolare. Astfel, Ostwald, într-o scrisoare către K. Lasswitz din 9 mai 1893, mărturisea că nu are încă aprobarea colegilor fizicieni, în afara unui cerc îngust de elevi. „Desigur că sînt și eu convins că această concepție, că ceva foarte asemănător, va determina în viitor gîndirea științifică ; momentan însă domnește neîndoielnic încă, pe toată linia, o înclinare neîncrezătoare a capului.“ (H. G. Körber, pag. 118.) Peste numai cîțiva ani, Boltzmann acuza *ostilitatea generală* față de teoria cinetică a gazelor pe care și-o explica prin atmosfera de suspiciune față de teoriile propriu-zis explicative, care nu se limitează la ordonarea economică a faptelor.

În aceste condiții, poziția lui Boltzmann în disputa lui cu susținătorii orientării fenomenaliste a cercetării nu putea să fie, în ultimă instanță, decît defensivă. Laitmotivul pledoariei sale este sublinierea utilității și a caracterului indispensabil al metodelor atomistice pentru asigurarea progresului cunoașterii fizice. Acest motiv este clar formulat într-o scrisoare către Ostwald din 11 iunie 1893 („Dogmei că natura nu poate fi explicată decît mecanic — prin mișcări ale atomilor — nu aș dori să-i opun cealaltă, că ea nu ar putea și nu ar trebui să fie explicată în acest fel") și revine obsedant în intervențiile sale ulterioare. Boltzmann invocă o varietate de cercetări care scot în evidență valoarea euristică a ipotezelor moleculare și atomice în fizică și chimie. Abordările fenomenologice pot fi încununate cu succese deosebite în domenii determinate și pentru probleme științifice determinate. Dar tendința de a favoriza în principiu abordările fenomenologice și de a le elimina pe cele atomiste, care și-a făcut loc sub influența noii mode filosofice, a energetismului și a machismului, este o eroare care ar putea să aibă urmări grave. „Cred — scria Boltzmann — că e de datoria mea să previn știința de prejudiciul care o amenință dacă fenomenologia va fi ridicată la rangul de dogmă, așa cum s-a făcut mai înainte cu atomismul." (L. Boltzmann /4/, pag. 80.) Oportunitatea utilizării și a cultivării în paralel a abordărilor atomiste și fenomenologice îi apare drept un comandament al înțelepciunii practice. „Posibilitatea unei explicări mecanice a întregii naturi nu este dovedită, și nici nu se pare că vom putea atinge pe deplin acest țel. Dar în aceeași măsură nu e dovedit nici faptul că nu vom putea face încă mari progrese și că nu vom trage multe foloase noi din ea". (L. Boltzmann /1/, pag. 77.) Valoarea teoriei mecanice a căldurii, bunăoară, este probată de faptul că ea a dus la descoperirea unor noi fenomene și legi fizice. Aici, ca și în alte cazuri, utilitatea abordărilor atomiste a fost dovedită și, prin urmare, sugestia că aceste abordări ar trebui să fie abandonate nu poate fi justificată din punct de vedere practic, chiar dacă aplicarea lor nu dă pretutindeni rezultate imediate și spectaculoase. Boltzmann conchide că ar fi

„total greşit să se afirme că concepţiile create prin teoria mecanică a căldurii sau teoria atomică a chimismului şi cristalizării trebuie să dispară odată din ştiinţă. Ne putem întreba doar dacă ar fi mai dezavantajoasă pentru ştiinţă graba care se manifestă în cultivarea unor asemenea imagini sau prudenţa exagerată care recomandă evitarea lor." (L. Boltzmann /4/, pag. 91.) Apărarea ipotezelor atomiste se transformă astfel într-o pledoarie pentru toleranţă, pentru o poziţie prudentă, circumspectă, liberă de prejudecăţi, împotriva oricărui dogmatism metodologic şi a rigidităţii doctrinare. Ar fi nechibzuit să încercăm, pornind de la consideraţii filosofice generale, să impunem cercetătorilor utilizarea exclusivă a anumitor metode şi abordări. Căci abia viitorul ne va permite să formulăm o apreciere bine întemeiată asupra fertilităţii lor relative. Care dintre cititorii care cunosc evoluţia ulterioară a evenimentelor nu va fi tulburat astăzi citind aceste rînduri din introducerea părţii întîi a *Lecţiilor de teoria gazelor*, publicată în 1896 : „Cine ştie dacă tendinţa modernă (energetistă — M.F.) nu va fi considerată ca un pas înapoi ; ... cine poate prevedea viitorul ? Să fie deci libere toate drumurile şi să fie înlăturată orice atitudine dogmatică fie pentru, fie contra ideilor atomiste !" (L. Boltzmann /2/, pag. 4.)

Acest viitor Boltzmann nu l-a mai trăit. Sentimentul de frustrare intelectuală, întreţinut de impresia că eforturile sale de elaborare mai departe a teoriei cinetice a gazelor şi de dezvoltare a interpretării statistice a proceselor ireversibile, care păreau că sfidează orice încercare de explicaţie mecanică, nu se bucură de atenţia şi înţelegerea cuvenite din partea opiniei publice ştiinţifice, s-a adîncit cu trecerea timpului. În prefaţa primei părţi a *Lecţiilor de teoria gazelor*, Boltzmann nota că teoria cinetică a gazelor „nu mai este la modă în Germania" pentru ca, în prefaţa părţii a doua (1898), să răzbată deja primele accente ale unei tragice resemnări. „Ştiu cît eşti de neputincios cînd eşti izolat şi lupţi împotriva curentului vremii. Cu toate acestea am vrut să contribui, în măsura puterilor mele, ca să nu fie prea multe lucruri de redescoperit, cînd se va reveni la teoria gazelor" (L. Boltzmann /2/, pag. VIII)[16]. Slăbit psihic de mulţi ani de muncă încordată, marele fizician austriac nu a rezistat depresiunii profunde pe care i-a provocat-o conştiinţa izolării sale ştiinţifice. Boltzmann s-a sinucis în vara anului 1906.

Este o ironie a soartei că această dramă a survenit tocmai în momentul cînd, după aprecierea unanimă a istoricilor contemporani, atomistica depăşea deja perioada ei cea mai grea. A. Einstein, în 1905, şi M. Smolukowski, în mod independent, în 1906, au reuşit să explice mişcarea unor particule minuscule suspendate într-un lichid, cunoscută botaniştilor de aproape optzeci de ani sub numele de mişcare browniană, prin mişcarea moleculară. Acordul între valorile obţinute prin determinarea mărimii moleculare pe baza măsurătorilor asupra radiaţiei termice (Planck) şi asupra mişcării browniene (J. Perrin) a constituit un argument puternic în favoarea atomisticii. Ca urmare a experienţelor ulterioare ale lui J. Perrin şi a altor probe indirecte, lumea ştiinţifică a admis realitatea fizică a atomilor. În 1909, în a patra ediţie a manualului său de chimie, Ostwald însuşi recunoştea existenţa atomilor. (Vezi St. Brush /1/, pag. 17.)

Ce răsturnare rapidă în opinia dominantă, dacă ne gîndim că Boltzmann însuşi reclama, cu un deceniu înainte, şi fără ecoul aşteptat, doar acceptarea valorii euristice a ipotezelor atomiste, fără să îndrăznească a vorbi măcar despre existenţa fizică a atomilor ![17]. Deja în 1910, un cercetător atît de reţinut în aprecieri ca Planck se considera îndreptăţit să afirme că în domeniul teoriei căldurii, a teoriei electronilor şi a chimiei, atomistica nu mai este o ipoteză de lucru, ci o teorie bine întemeiată. (Vezi M. Planck /3/, pag. 5.) În 1915, Planck caracteriza interpretarea statistică a celei de a doua legi a termodinamicii, dată de Boltzmann, ca o contribuţie esențială la depășirea opoziției dintre dinamică și teoria căldurii. (Vezi M. Planck /6/, pag. 35—36.) În același an, reputatul fizician german W. Voigt putea să încheie articolul său de sinteză, consacrat evaluării comparative a fertilității abordărilor fenomenologice și atomiste, cu următoarea constatare: „Succesele strălucite ale ipotezei electronice au contribuit în mod deosebit, alături de rezultatele teoriei cinetice a materiei, ca în ultimele decenii abordarea atomistă să primească o preponderență considerabilă în raport cu cea fenomenologică". (W. Voigt, pag. 730.) Mai mult, generalizarea teoriei mișcării browniene indică, cum observa Einstein într-un articol publicat în același volum, sub redacția lui E. Warburg, că legile termodinamicii fenomenologice posedă doar o valabilitate aproximativă. Noua teorie poate indica valoarea abaterilor produse de dezordinea evenimentelor moleculare față de valorile prezise de teoria fenomenologică. (Vezi A. Einstein /1/, pag. 261.) Einstein sublinia totodată însemnătatea relației, pe care a stabilit-o pentru prima dată Boltzmann, între termodinamică și mecanica statistică, nu numai din punctul de vedere al valorii ei intrinseci, ci și fiindcă oferă un principiu euristic a cărui rază de acțiune depășește mult domeniul mecanicii moleculare. (Vezi A. Einstein /1/, pag. 262.) Cu greu și-ar fi putut închipui chiar și cei mai fervenți susținători ai atomismului un triumf mai deplin al ideilor pentru care a luptat o viață întreagă Boltzmann, la mai puțin de zece ani de la dispariția lui. Aceia care ar fi tentați, astăzi, să vadă în el un nou martir al științei în epoca modernă nu trebuie să uite că, spre deosebire de genii clarvăzătoare ale unui trecut mai îndepărtat, care au devenit victime ale dușmanilor rațiunii și gîndirii libere, Boltzmann a naufragiat în cele din urmă ca urmare a ciocnirii cu un mod de gîndire inspirat de o filosofie ce s-a născut, este adevărat, în afara științei, dar care a căpătat influență asupra orientării gîndirii științifice în primul rînd datorită faptului că părea să fie confirmată de unele evoluții momentane ale cercetării. Este un avertisment mereu actual împotriva tentației de a proclama și a impune principii generale și imuabile ale cercetării pe temeiul interpretării dezvoltării istorice a gîndirii științifice în lumina unor experiențe metodologice locale și limitate.

---

[16] În acelaşi sens, este semnificativă mărturia unui contemporan apropiat lui Boltzmann, Th. des Condres, citat de biograful lui Boltzmann (vezi E. Broda /1/). Boltzmann, relatează des Condres, era stăpînit, în ultimii săi ani, de temerea că o „barbarie energetică" va înăbuşi pentru un timp opera vieţii sale şi atomistica în general.

[17] „Dealtfel, prezentînd teoria gazelor ca un ansamblu de *analogii mecanice,* noi indicăm deja, prin alegerea acestei expresii, cît de departe sîntem... de a susţine că în realitate corpurile sînt, în toate punctele lor, compuse din particule foarte mici." (L. Boltzmann /3/, pag. 4.)

Capitolul V

„Realismul ştiinţific“ al lui M. Plank, ca legitimare filosofică a fizicii noi

Susţinătorii orientării fenomenaliste nu au văzut în succesul ideilor atomiste un semn al eşecului filosofiei lor. Ostwald, de exemplu, pretindea că atomismul, pe care-l combătuse pînă atunci cu atîta intransigenţă, ar trebui acum să fie acceptat de fizicianul teoretician fiindcă s-ar fi transformat dintr-o ipoteză speculativă într-o teorie ştiinţifică. Mai mult, machiştii şi energetiştii interpretau declinul tot mai evident al mecanicismului drept o confirmare a propriei lor teorii a cunoaşterii fizice.

Într-adevăr, triumful pe care l-au cunoscut ideile atomistice în primele decenii ale secolului nostru nu a însemnat şi reabilitarea concepţiei mecaniciste. Devenea dimpotrivă tot mai clar şi era tot mai larg recunoscut, în afara cercurilor înguste ale fizicienilor ultraconservatori, că mecanicismul nu mai putea fi menţinut în toate elementele sale ca filosofie generală a naturii şi ca program al cunoaşterii fizice. În aceste condiţii clarificarea semnificaţiei evoluţiilor ştiinţifice recente din punctul de vedere al unei teorii generale a cunoaşterii ştiinţifice capătă o însemnătate deosebită pentru orientarea cercetării. Chiar izolarea în care ajunsese Boltzmann se explică într-o anumită măsură prin împrejurarea că mulţi din contemporanii lui vedeau îl el pe protagonistul fizicii mecaniciste tradiţionale. Dacă s-ar fi statornicit impresia falsă că singura alternativă faţă de mecanicism este concepţia fenomenalistă a cunoaşterii fizice, şi această concepţie ar fi fost recunoscută de către fizicienii creatori ca punct de plecare al activităţii lor, aceasta ar fi însemnat nu numai că nu s-a învăţat nimic din experienţele recente ; mai mult, căi noi şi promiţătoare ar fi fost închise. Pentru orientarea teoreticianului devenea vitală elaborarea unei concepții asupra sensului și țelurilor cunoașterii fizice, în măsură să dea socoteală de eșecul programului mecanicist dar, totodată, să salveze, să integreze și să dezvolte pe baze noi inspirația realistă și esențialistă a fizicii mecaniciste [1]. Contribuții esențiale la determinarea contururilor unei asemenea concepţii, care legitimează din punct de vedere filosofic fizica nouă[2], o fizică esenţialistă dar nemecanicistă, se găsesc în numeroasele lucrări cu profil istorico-filosofic scrise de-a lungul a cinci decenii de marele fizician teoretician german Max Planck.

---

[1] Caracterul vital al unor supoziții filosofice fundamentale ale fizicii mecaniciste din perspectiva țelurilor finale ale cunoașterii științifice, în contrast cu supozițiile orientării energetiste, „fenomenologice“, a fost subliniat cu multă vigoare, mai tîrziu, de A. Einstein. Descriind fizica „fenomenologică“ ca acea orientare pentru care este caracteristică utilizarea, pe cît este posibil, doar a conceptelor care sînt apropiate de experiență dar care, chiar din acest motiv, nu sînt în măsură să asigure unitatea fundamentelor fizicii, Einstein aprecia în termenii următori avantajele și superioritatea orientării esențialiste, caracteristică și fizicii mecaniciste, orientare ce favorizează explicația legilor experimentale prin introducerea unor entități situate dincolo de nivelul observației directe : „După convingerea mea, cea mai mare realizare a mecanicii lui Newton constă în faptul că aplicarea ei consistentă a condus dincolo de această reprezentare fenomenologică, îndeosebi în domeniul fenomenelor căldurii. Aceasta se poate vedea în teoria cinetică a gazelor și, într-un mod mai general, în mecanica statistică. Prima corelează ecuația de stare a gazelor ideale, vîscozitatea, difuzia, conductibilitatea calorică a gazelor și fenomenele radiometrice ale gazelor și oferă o legătură logică între fenomene care, din punctul de vedere al experienței directe, nu au nimic de a face unele cu altele. A doua furnizează o interpretare mecanică a ideilor și legilor termodinamicii, ca și descoperirea limitelor aplicabilității noțiunilor și legilor ei (a mecanicii lui Newton — M.F.) la teoria clasică a căldurii. Teoria cinetică, care depășește de departe fizica fenomenologică în ceea ce privește unitatea logică a fundamentelor ei, a produs pe deasupra valori diferite pentru valorile reale ale mărimii atomilor și moleculelor, care rezultă din cîteva metode independente, și a fost astfel situată dincolo de domeniul oricărei îndoieli rezonabile. Aceste progrese decisive au fost plătite cu prețul coordonării entităților atomiste cu punctele materiale ; caracterul constructiv speculativ al acestor entități este evident. Nimeni nu poate spera vreodată 'să perceapă direct' un atom. Legile ce privesc variabilele corelate mai direct cu faptele experimentale (de exemplu, temperatură, presiune, viteză) au fost deduse din ideile fundamentale cu ajutorul unor calcule complicate. În felul acesta fizica (cel puțin o parte a ei), constituită inițial într-un mod mai fenomenologic, a fost redusă, fiind întemeiată pe mecanica newtoniană a atomilor și moleculelor, la o bază tot mai îndepărtată de experimentul direct, dar mai uniformă în ceea ce privește caracterul ei.“ (Einstein /4/, pag. 73—74.) Einstein, ca și Planck, socotea că trecerea de la idei și concepte mai descriptive, la idei și concepte mai pronunțat explicative, ce se depărtează într-o măsură tot mai mare de lumea experienței senzoriale, este o lege generală a dezvoltării cunoașterii fizice.

Chiar şi numai interesul constant pe care l-a manifestat Planck pentru istoria şi teoria generală a cunoaşterii ştiinţifice este un fapt care merită atenţie. Solicitările exterioare şi obligaţiile instituţionale nu pot să explice singure de ce spirite creatoare care au acordat desigur prioritate cercetărilor ştiinţifice, cum au fost cele ale lui Planck sau Einstein, s-au aplecat totuşi cu atîta stăruinţă asupra problematicii filosofice a cunoaşterii fizice. Ele nu ar fi făcut-o desigur dacă nu ar fi fost pătrunse de convingerea că clarificarea principiilor cunoaşterii fizice prezintă o însemnătate esenţială pentru orientarea cercetării în direcţia pe care o considerau fertilă.

Planck a făcut filosofia fizicii într-un sens tare şi strict al cuvîntului. El nu s-a mărginit, precum unii din celebrii săi contemporani, să formuleze ocazional consideraţii cu privire la semnificaţia noilor descoperiri pentru completarea, dezvoltarea sau restructurarea „tabloului fizic al lumii“, ci a vizat elaborarea unei concepţii coerente despre obiectul şi ţelul cunoaşterii fizice. O asemenea concepţie, ale cărei idei directoare au fost desprinse de Planck prin considerarea istoriei de pînă atunci a fizicii teoretice, era menită să-i orienteze înaintarea pe mai departe, pînă la atingerea „obiectivului ei final“. Tocmai în acest sens trebuie, cred, înţeleasă observația pe care o face Planck, în *Cuvîntul înainte* scris în 1933 pentru prima ediție a culegerii cuvîntărilor și conferințelor sale pe teme filosofice, că deși fizica a cunoscut în deceniile doi și trei transformări profunde, el își menține în esență punctul de vedere asupra „problemelor generale ale fizicii și ale cunoașterii fizice" (vezi M. Planck /10/, pag. V), exprimat pentru prima dată într-o conferință pe care a ținut-o la Leyda, la sfîrșitul anului 1908.

---

[2] Expresia *fizică nouă* este utilizată aici într-un sens determinat, şi anume pentru a desemna noua epocă în istoria fizicii teoretice care începe la hotarul dintre cele două secole şi este inaugurată de marile teorii care marchează eşecul programului mecanicist : teoriile electrodinamice ale luminii şi ale substanţei, începuturile teoriei cuantelor şi teoria relativităţii. În terminologia pe care am adoptat-o, distincţia dintre *fizica veche, fizica mecanicistă* şi *fizica nouă* nu coincide cu distincţia dintre *fizica clasică şi fizica modernă,* în sensul pe care-l dau acestei din urmă expresii mulţi fizicieni care apreciază teoria relativităţii ca „o încoronare a fizicii clasice“ („Teoria relativităţii poate fi considerată ca o încoronare a fizicii clasice. Abia mecanica cuantică a însemnat o ruptură cu gîndirea clasică, în măsura în care cere un nou mod de gîndire“ — V. F. Weisskopff /1/, pag. 77.) şi consideră că abia dezvoltarea teoriei cuantelor în deceniul al treilea reprezintă începutul fizicii moderne.

Elementul central al concepției lui Planck este distincția dintre *lumea senzorială, lumea fizică reală* și *lumea fizicii teoretice,* ceea ce el numește *tabloul fizic al lumii (das physikalische Weltbild).* Lumea fizică reală, independentă de oameni, constituie obiectul cunoașterii fizice. Ea nu este însă accesibilă direct cercetătorului, ci numai prin medierea lumii senzoriale. Lumea fizicii teoretice este, spre deosebire de lumea fizică reală, o creație conștientă a omului, supusă dezvoltării. Marele fizician aprecia că lumea fizică reală nu este „începutul ci țelul cercetării fizice, și anume un țel care nu este niciodată atins pe deplin, dar care trebuie avut tot timpul în vedere dacă dorim să înaintăm". (Vezi M. Planck /10/, pag. VI.) Căci pentru cercetătorul naturii lumea fizică reală nu este decît acel tablou fizic al lumii, de o perfecțiune ideală, care nu ar mai avea nevoie de nici o îmbunătățire. Punctul de vedere pe care-l exprimă aceste formulări este cel al *realismului științific.* El capătă contur printr-o dublă delimitare, față de realismul naiv, concepția care vede în lumea senzorială cunoașterea, reflectarea fidelă a structurii lumii fizice reale, și față de concepția fenomenalistă a cunoașterii fizice, care consideră drept obiect al cunoașterii fizice lumea senzorială și nu lumea fizică reală [3]. Aceste două poziții, care pot părea plauzibile, sînt apreciate de Planck ca fiind ireconciliabile cu concluzii ce se desprind din examinarea dezvoltării istorice a fizicii teoretice. Din perspectiva acestei istorii, progresul cunoașterii fizice ne apare, pe de o parte, ca un proces de lărgire și unificare continuă a lumii experienței, iar pe de altă parte, de îndepărtare continuă a structurii tabloului fizic de lumea impresiilor senzoriale. Planck insistă în mod deosebit asupra acestei a doua tendințe a dezvoltării istorice. Cunoașterea fizică evoluează de la concepte mai concrete, mai particulare, la concepte tot mai abstracte și mai cuprinzătoare. Considerarea cît de sumară a istoriei acusticii, opticii sau teoriei căldurii arată că elementele senzoriale sînt în mod treptat eliminate din tabloul fizic al lumii ; conceptele și corelațiile calitative familiare sînt înlocuite cu concepte și corelații cantitative, abstracte care nu pot fi formulate decît în limbajul matematic. Astfel, tonul este definit prin numărul oscilațiilor, culoarea prin lungimile de undă, iar temperatura prin raportare la scara absolută a temperaturii, introdusă pe baza legii a doua a termodinamicii, sau la impulsul mediu al moleculelor, în teoria cinetică a gazelor. Elementul antropomorfic este înlăturat din definiția științifică modernă a forței. Acest sens al evoluției cunoașterii fizice este ilustrat și de reducerea conceptului de entropie la cel de probabilitate, realizată de Boltzmann. Definirea entropiei ca o mărime proporțională cu logaritmul probabilității face posibilă aplicarea conceptului nu numai pentru stările de echilibru cu care se ocupă termodinamica obișnuită, ci și pentru stările dinamice. Astfel, elementul antropomorfic este cu totul eliminat din definiția entropiei. Aceeași apreciere este valabilă pentru înlocuirea principiului lui Clausius cu privire la imposibilitatea trecerii căldurii de la corpuri cu temperaturi mai joase la corpuri cu temperaturi mai înalte, cu principiul al doilea al termodinamicii. În sfîrșit, tendința de îndepărtare a tabloului fizic al lumii de lumea experienței și de intuițiile familiare asociate acesteia se exprimă cu deosebită forță în teoria relativității și în teoria cuantelor. Epurarea crescîndă a conceptelor fizice de elementele senzoriale conduce, pe de o parte la unificarea unor discipline altădată separate ca optica, electricitatea și magnetismul într-o disciplină unică, electrodinamica, și, pe de altă parte, la dizolvarea obiectului unitar al unei discipline ca teoria căldurii, al cărei domeniu era legat de un anumit tip de senzații, în discipline ca electrodinamica, care se ocupă cu diferite tipuri de radiații, și mecanica sau teoria cinetică a căldurii. (Vezi M. Planck /2/, pag. 3—4.) Cele două caracteristici aparent incompatibile ale progresului fizicii teoretice, pe care le pune clar în evidență istoria ei de pînă acum, lărgirea și unificarea continuă a lumii experienței și îndepărtarea descrierii științifice de lumea experienței, pot fi înțelese numai dacă admitem că progresul are loc în direcția unei „apropieri continue de lumea reală". (M. Planck /8/, pag. 16.) Trebuie să presupunem că lumea fizică reală nu se identifică cu lumea experienței senzoriale ci se situează pe un alt plan și, totodată, că structura ei determină în mare măsură natura experiențelor noastre senzoriale[4]. Numai acceptînd aceste presupuneri poate căpăta sens faptul aparent paradoxal că prin introducerea unor concepte și legi tot mai abstracte, mai îndepărtate de experiența senzorială directă, putem înainta în direcția unei unificări și stăpîniri crescînde a lumii experienței noastre.

---

[3] „Că lumea exterioară nu o creăm noi din considerații de convenabilitate *(Zweckmässigkeitsgründen)* și că, invers, lumea exterioară ni se impune cu putere elementară, este un punct care, în epoca noastră, îmbibată puternic de curente pozitiviste, nu poate fi considerat ca de la sine înțeles." (M. Planck /7/, pag. 115.)

Adoptarea punctului de vedere al realismului științific ne conduce la concluzia că progresul cunoașterii fizice va fi favorizat dacă construcțiile teoretice vor fi raportate continuu atît la experiență, cît și la lumea fizică reală. În practica științifică, subliniază Planck, aceste două cerințe se întregesc în mod fericit. Cerința raportării tabloului fizic la lumea fizică reală va stimula fantezia cercetătorului, îndrăzneala lui de a introduce concepte tot mai abstracte, mai îndepărtate de cele familiare, în timp ce corelarea cu datele experienței îl va menține pe terenul faptelor, îi va furniza atît informații indispensabile pentru elaborarea construcțiilor sale teoretice abstracte, cît și indicații necesare pentru aprecierea adecvării acestor construcții realității fizice. Planck apreciază, prin urmare, ceea ce numește punctul de vedere al „metafizicienilor" — țelul fizicii teoretice este cunoașterea cît mai deplină a lumii fizice reale — și respectiv punctul de vedere al „pozitiviștilor" — țelul fizicii teoretice este de a descrie cît mai simplu lumea experienței — ca fiind „fiecare din ele, luate în sine, unilateral și nesatisfăcător". (Vezi M. Planck /8/, pag. 11—12.)

---

[4] Planck a încercat să clarifice această idee printr-o analogie. Prin ceea ce primește în observațiile sale, fizicianul se găsește în fața lumii reale cam în aceeași poziție în care se află lingvistul care descifrează un document ce aparține unei culturi cu totul necunoscute. (Vezi M. Planck /8/, pag. 174.)

Probînd o remarcabilă libertate de spirit şi sfidînd mentalitatea pozitivistă a vremii, Planck insista asupra faptului că există o conexiune strînsă între concepţia despre lume şi munca ştiinţifică a cercetătorului. Intervenţiile frecvente ale lui Planck în discuţiile filosofice, polemica lui cu Mach şi cu susţinătorii concepţiei acestuia erau motivate de convingerea lui profundă că situarea filosofică a cercetătorului, punctul de vedere pe care-l adoptă în mod spontan sau conştient cu privire la obiectul şi ţelurile cunoaşterii fizice, va exercita o mare influenţă asupra orientării cercetării. Planck socotea că întrebarea cu privire la sensul progresului cunoaşterii fizice, la sensul înaintării care se realizează în succesiunea tablourilor fizice ale lumii, a primit două răspunsuri fundamentale. Unul din acestea este cel dat de concepţia pe care Planck o numea de obicei „pozitivistă“ şi o caracteriza în termenii următori : obiectul fizicii teoretice este lumea experienţei senzoriale, iar ţelul ei este de a reduce observaţiile noastre la legi cît mai simple şi mai exacte. Planck observa că există şi alte sensuri în care circulă termenul, dar acesta este unul din cele mai utilizate. (Vezi M. Planck /9/, pag. 167.) Este evident că ceea ce Planck desemnează prin termenul *pozitivism* este concepţia fenomenalistă asupra cunoaşterii fizice, mai ales în formularea pe care i-au dat-o Mach şi Ostwald. Al doilea răspuns este cel dat de concepţia *realismului ştiinţific,* expresie pe care o folosesc pentru a desemna punctul de vedere al lui Planck[5] : obiectul cunoaşterii fizice nu este lumea senzorială, ci lumea fizică reală[6] ; în succesiunea tablourilor fizice ale lumii se realizează o apropiere progresivă de lumea fizică reală, o desprindere tot mai deplină a tabloului fizic al lumii de „individualitatea spiritului care-l construieşte“. (M. Planck /2/, pag. 24.)

Combătînd *pozitivismul,* Planck viza în primul rînd concepţia machistă asupra cunoaşterii fizice, pe care o aprecia drept elaborarea cea mai profundă și mai coerentă a unei poziții filosofice susținută în forme specifice de cunoscuți fizicieni și filosofi ai epocii[7]. Poate și atitudinea inflexibilă de respingere a atomismului, în care Mach a persistat, spre deosebire de Ostwald, la sfîrșitul primului deceniu al secolului nostru, ar putea să explice de ce tocmai principiile teoriei cunoașterii fizice ale celui dintîi vor deveni obiectul atacurilor frontale ale lui Planck, inaugurate prin celebra lui conferință de la Leyda din 1908.

---

[5] Planck nu utilizează acest termen sau altul pentru a denumi punctul de vedere pe care-l apără şi dezvoltă. Termenul a primit şi alte accepţii în literatura filosofică.

[6] „Ce înseamnă pentru noi, în esenţă, ceea ce numim tabloul fizic al lumii ? Este acesta doar o creaţie adecvată scopului dar în esenţă arbitrară a spiritului nostru sau ne găsim împinşi spre concepţia opusă că el reflectă evenimente ale naturii reale, cu totul independente de noi ? “ (M. Planck /2/, pag. 2.)

Natura și orientarea criticii întreprinse de Planck la adresa concepției pozitiviste, în speță machiste, a cunoașterii fizice, merită o atenție deosebită. Planck se concentrează asupra confruntării consecințelor pe care le implică adoptarea concepției lui Mach cu sensul în care s-a dezvoltat pînă atunci fizica teoretică și cu opțiunile posibile privitoare la direcția în care ar trebui orientată dezvoltarea ei viitoare. Acest punct de vedere în examinarea unei concepții filosofice este tipic pentru omul de știință creator. Pentru a judeca pozitivismul, scrie Planck, nu există o cale mai bună „decît de a determina unde ne duce pozitivismul, dacă ne încredințăm lui în întregime și îl acceptăm ca unica bază a fizicii". (M. Planck /9/, pag. 167.) Numai în acest fel vom putea determina dacă pozitivismul, în particular machismul, este într-adevăr îndreptățit să pretindă că reprezintă filosofia științei pozitive, a științelor exacte ale naturii. Or, adoptînd punctul de vedere că obiectivul cunoașterii fizice este organizarea economică a lumii senzațiilor și percepțiilor noastre, și considerînd din acest punct de vedere trecutul, vom constata că evoluția tabloului fizic al lumii în direcția îndepărtării lui de lumea experienței senzoriale nu este de dorit fiindcă echivalează cu eliminarea elementelor autentice ale lumii din tabolul fizic al lumii. (Vezi M. Planck /2/, pag. 22—

---

[7] Faptul că Mach era cel mai de seamă protagonist al direcției fenomenaliste în fizică a fost remarcat și de alți fizicieni contemporani, chiar dacă ei au intrat pentru prima dată în contact cu punctul său de vedere principial ascultîndu-i sau citindu-i pe Ostwald sau pe Helm. A. Sommerfeld nota, de pildă, în amintirile sale despre Congresul de la Lübeck din 1895 : „Campionul energeticii era Helm : în spatele său stătea Ostwald și în spatele amîndurora filozofia lui Ernst Mach (care nu a fost personal prezent)." (Vezi A. Sommerfeld, *Wiener Chemiker Zeitung*, *47*, 25, 1944, citat după St. G. Brush /1/, pag. 14.)

24.) Dacă legile naturii nu ar fi decît reguli care permit rezumarea comodă a desfăşurării în timp a impresiilor noastre senzoriale, cum susține Mach, va trebui să admitem că științele exacte ale naturii s-au dezvoltat pînă acum într-o direcție greșită. „Căci nu este posibil să tăgăduim că întreaga dezvoltare de pînă acum a cunoașterii fizice are loc în direcția unei distincții principiale, împinse cît mai departe, a evenimentelor din lumea exterioară de evenimentele din lumea noastră senzorială". (M. Planck /5/, pag. 36.) Concepția lui Mach, conchide Planck, este incapabilă să dea socoteală de sensul general ce se desprinde din examinarea dezvoltării istorice a ideilor fizicii teoretice. Ea poate fi combătută și trebuie combătută cu armele criticii istorico-filosofice [8].

Privind lucrurile retrospectiv, constatăm, pe de altă parte, că influența concepțiilor pozitiviste, fenomenaliste, a reprezentat un obstacol efectiv în calea progresului cunoașterii fizice. Mach, remarca Planck, a încercat de-a lungul întregii sale vieți să discrediteze, cu mijloacele analizei conceptuale și ocazional cu cele ale ironiei, ideile atomiste, care și-au probat, în cele din urmă, în mod strălucit utilitatea și valoarea științifică. (M. Planck /8/, pag. 106.) Contestînd pînă la sfîrșitul vieții sale realitatea fizică a atomilor și interpretarea statistică a celei de a doua legi a termodinamicii din rațiuni filosofice, Mach a angajat de fapt principiile teoriei sale a cunoașterii fizice într-o confruntare frontală cu dezvoltarea efectivă a cunoașterii fizice și le-a supus probei necruțătoare a timpului. Dacă filosofia științei a lui Mach a continuat totuşi să trezească interesul fizicienilor creatori din secolul nostru, aceasta s-a datorat în primul rînd faptului că ea a fost de multe ori înțeleasă doar ca o reacție necesară și binevenită împotriva fizicii mecaniciste. Planck a fost probabil cel care a remarcat și subliniat prima dată că Mach confundă declinul mecanicismului cu cel al oricărei concepții realiste și esențialiste a cunoașterii fizice[9]. Dezvoltarea fizicii teoretice a discreditat într-adevăr supozițiile dogmatice ale programului mecanicist, dar nu și unele convingeri filosofice fundamentale care i-au însuflețit pe susținătorii lui, în primul rînd convingerea că fizica teoretică aspiră să descrie structurile de adîncime ale lumii reale, care nu sînt și nu vor fi niciodată direct accesibile observației științifice. În lumina experienței dezvoltării istorice a cunoașterii fizice, orientarea generală a fizicienilor din școala mecanicistă de a înlocui explicațiile prin concepte antropomorfice, familiare cu explicații care utilizează concepte tot mai abstracte s-a dovedit corectă, în timp ce direcția fenomenalistă care respinge orice ipoteză despre entități ce transced experiența devenea tot așa de dăunătoare ca și tendințele speculative ce neglijează cercetările faptice. Iată de ce Planck crede că pozitivismul, care pretinde să fie filosofia științelor exacte ale naturii, va împărtăși, în cele din urmă, soarta vechii filosofii speculative a naturii ! (Vezi M. Planck /11/, pag. 220.) Planck mărturisea că s-a transformat dintr-un susținător într-un adversar al machismului atunci cînd a ajuns, ca cercetător al naturii, „la înțelegerea faptului că filosofia naturii a lui Mach nu poate să îndeplinească promisiunea ei strălucitoare, care i-a adus cei mai mulți adepți : eliminarea tuturor elementelor metafizice din cunoașterea fizică“. (M. Planck /4/, pag. 498.)

---

[8] Iată un alt argument de acest fel : „Cînd marii maeștri ai cercetării exacte a naturii și-au formulat ideile științifice, cînd Copernic a înlăturat pămîntul din centrul lumii, cînd Kepler a formulat legile ce-i poartă numele, cînd Newton a descoperit gravitația generală, cînd marele vostru compatriot Christian Huygens a formulat teoria sa ondulatorie a luminii, cînd Faraday a creat bazele electrodinamicii — enumerarea ar putea continua încă mult timp — atunci considerentele de economie au fost în mod sigur ultimele care i-au întărit pe acești oameni în lupta împotriva concepțiilor tradiționale și a unor autorități copleșitoare. Ceea ce i-a susținut a fost credința lor, tare ca stînca, care se sprijinea pe o bază artistică sau religioasă, în realitatea tabloului lor asupra lumii." (M. Planck /2/, pag. 25.)

Confruntarea cu filosofia machistă se impune, în ultimă instanță, chiar cercetătorului fără interese filosofice, atunci cînd este vorba de a aprecia căile și direcțiile dezvoltării viitoare a cunoașterii fizice. Căci dacă această filosofie ar căpăta o recunoaștere tot mai largă, dacă concluziile ei ar deveni puncte de plecare în munca cercetătorilor[10], atunci, credea Planck, modul de gîndire care a favorizat interpretarea statistică a teoriei căldurii, dezvoltarea electrodinamicii, construcţia teoriei relativităţii şi a teoriei cuantelor, adică a cîtorva din cele mai importante direcţii de dezvoltare în fizica teoretică de la începutul secolului nostru, ar trebui să fie abandonat. Căci acest mod de gîndire, caracteristic unor mari fizicieni ai vremii, se întemeia pe convingerea spontană că lumea fizică reală se află la o distanţă mare de lumea senzorială şi că scopul fizicii teoretice este cunoaşterea ei. Presupoziţiile acestui mod de gîndire erau în contradicţie flagrantă cu principiile epistemologice ale lui Mach[11]. În mod firesc, Planck se considera îndreptăţit să afirme că „dacă principiul economic al lui Mach va fi într-adevăr împins în centrul teoriei cunoaşterii, demersurile de gîndire ale acestor spirite conducătoare ar fi tulburate, zborul fanteziei lor ar fi paralizat şi astfel progresul ştiinţei ar putea fi frînat într-un mod poate fatal". (M. Planck /2/, pag. 25.)

---

[9] Pozitivismul lui Mach, aprecia Planck, „își greșește ținta în măsura în care odată cu tabloul mecanic al lumii degradează și tabloul fizic al lumii în general.“ (Vezi M. Planck /2/, pag. 24.) „Privită din punctul de vedere al pozitivismului, ideea unui tablou fizic al lumii și a luptei continue pentru cunoașterea realului este desigur ceva străin, lipsit de sens. Căci unde nu există obiect, acolo nu există nici ceva care ar putea fi reprezentat.“ (M. Planck /9/, pag. 174.)

Ne putem întreba, totuşi, dacă Planck nu a exagerat prevenindu-şi cu atîta insistenţă contemporanii asupra daunelor pe care le-ar aduce progresului cunoaşterii acceptarea unor consecinţe implicate în teoria machistă a cunoaşterii fizice. Este doar un loc comun că rezultatele ştiinţifice şi nu argumentele filosofice sînt cele care decid, în cele din urmă, soarta unei teorii noi, a unei noi orientări ştiinţifice. Planck, unul din cei mai reputaţi cercetători ai epocii sale, nu gîndea nici el altfel. Mai mult, el a subliniat insistent că argumentele filosofice nu pot fi constrîngătoare într-o controversă asupra căilor pe care trebuie îndrumată cercetarea. Ar fi de aceea mai potrivit să calificăm ideile pe care se întemeiază asemenea argumente nu ca adevărate sau false, ci ca valoroase sau lipsite de valoare. (Vezi M. Planck /11/, pag. 219—220.) Ultimul cuvînt îl are istoria, desfăşurarea ulterioară a evenimentelor, singurele în măsură să întemeieze o judecată finală cu privire la fertilitatea şi deci la valoarea pentru ştiinţă a unei anumite direcţii de gîndire. Planck explică în 1910, în răspunsul pe care îl dă unui articol polemic al lui Mach, motivele pentru care nu este înclinat să continue discuţia, astfel : „Nu pot spera să-mi conving adversarii ; dimpotrivă, mă pot aştepta la reproşuri că am înţeles totul greşit ; voi lăsa deci torentul să treacă în linişte şi voi aştepta pînă survine ceva pozitiv. Ce anume va decide în cele din urmă în această dispută ? 'După fructele lor îi veţi cunoaşte'. Îmi pare rău, dar nu pot propune un tribunal mai înalt." (M. Planck /4/, pag. 501—502.) Creatorul fizicii cuantelor i-a depăşit însă în perspicacitate pe contemporanii săi, şi chiar pe mulţi din cei care au reflectat după el asupra rolului convingerilor filosofice în orientarea gîndirii ştiinţifice, observînd că o asemenea judecată finală se lasă, cel mai adesea, mult aşteptată, că ea survine numai după ce cercetarea a progresat suficient într-o direcţie ce nu poate fi, din capul locului, asigurată. O opţiune de ordin filosofic este hotărîtoare pentru urmărirea consecventă a unei anumite strategii ştiinţifice, în măsura în care fertilitatea şi deci îndreptăţirea acesteia nu poate fi dovedită într-un mod obiectiv, constrîngător, decît la capătul şi nu la începutul drumului[12].

---

[10] Planck, care evita cît putea polemicile, s-a angajat totuşi într-o controversă publică cu filosofia fizicii a lui Mach tocmai fiindcă a considerat că realizarea unei asemenea posibilităţi nu poate fi exclusă. În 1908, el aprecia că orientarea promovată de Mach cîştigă influenţă în rîndurile cercetătorilor naturii. (Vezi M. Planck /2/, pag. 22.)

[11] În acest context putem înţelege mai bine avertismentul pe care-l formula Planck într-o cuvîntare academică ţinută în anul 1913 : „Celui care respinge credinţa în realitatea atomilor şi a electronilor, sau a naturii electromagnetice a razelor de lumină, sau a identităţii căldurii corpurilor şi a mişcării, nu i se va putea dovedi o contradicţie logică sau empirică. Dar el trebuie să vadă cum va fi posibil să promoveze, pornind de la punctul său de vedere, cunoaşterea fizică." (M. Planck /5/, pag. 37.)

---

[12] Acest lucru l-a înţeles şi un adversar filosofic al lui Planck, P. Duhem. În introducerea cărţii sale asupra evoluţiei mecanicii, publicată în 1905, Duhem observa că „între diferitele tendinţe ce solicită mecanica nu se poate decide aici. Arborele este judecat după fructe ; or, arborele ştiinţei creşte extrem de încet ; se scurg secole înainte de a fi posibil să se culeagă fructul copt. Abia astăzi ne este permis să exprimăm şi să apreciem succesul doctrinelor care au înflorit în secolul al XVII-lea. Cel care seamănă nu poate judeca ce valoare are sămînţa ; dar trebuie să aibă încredere în fecunditatea sămînţei pentru a urma fără slăbiciune brazda pe care a ales-o, presărînd idei în cele patru vînturi." (P. Duhem /1/, pag. 3.) În particular, punctul de vedere pe care-l exprimă Duhem în ultimele pagini ale cărţii cu privire la tendinţa generală a evoluţiei mecanicii — reducerea nivelului de abstractizare a principiilor ei, reintroducerea consideraţiilor calitative şi reîntoarcerea în acest fel la „principiile cele mai profunde ale doctrinelor peripateticiene" — nu a fost confirmat de istorie. Acest punct de vedere

Apărătorii atomismului în frunte cu Boltzmann, observă Planck, nu au dispus în discuția cu adversarii lor de argumente constrîngătoare. Aceștia din urmă puneau la îndoială sau respingeau pur și simplu o orientare generală a cărei valoare și îndreptățire științifică nu puteau fi în acel moment probate în mod definitiv, ci doar susținute cu argumente istorico-filosofice. (Vezi M. Planck /7/, pag. 106—107.) Reprezentarea curentă a raționalității științifice, în măsura în care sugerează că decizia de a urma o anumită direcție de cercetare ar trebui să fie întemeiată, ca orice decizie științifică, pe argumente cu valoare obiectivă și deci constrîngătoare, nu rezistă confruntării cu realitatea istorică. În situații determinate, cum sînt cele pe care le-am înfățișat, cercetătorul deschizător de noi drumuri nu poate proba celor care nu-i împărtășesc convingerile filosofice că a pornit pe calea cea bună. Este nevoie de multă inspirație, talent, trudă și perseverență pentru a dovedi, prin roadele culese, că drumul a fost bine ales. Iar pe parcurs, eșecurile și impasurile temporare nu sînt excluse. Dacă ne gîndim că cercetătorul de avangardă poate ajunge să fie chinuit de îndoieli și trebuie să lupte adesea cu nesiguranța și temerile celui care se simte izolat, ba poate uneori chiar să cadă în această luptă, așa cum s-a întîmplat cu Boltzmann, vom înțelege mai bine însemnătatea vitală pe care o pot avea convingerile filosofice care-l însuflețesc nu numai pentru destinul său individual, ci și pentru mersul înainte al cunoașterii umane. Aceste convingeri nu pot fi pe deplin justificate *ab initio* — forța și puterea de convingere pe care le posedă argumentele istorico-filosofice în controversele cu privire la orientări alternative ale cercetării sînt inevitabil limitate —, ci doar *post festum*, prin roadele pe care le aduce fidelitatea față de ele. În termenii unui gînditor mai apropiat de noi, condiția presupozițiilor filosofice ale cercetării ar putea fi exprimată, poate nimerit, spunînd că ele nu pot fi fundate ci sînt doar susceptibile de o autofundare retroactivă. Este greu să se formuleze mai sugestiv morala ce se degajă din examinarea marii confruntări care a opus orientarea esențialistă și cea fenomenalistă la

---

este direct opus celui susținut de Planck și Einstein, cum rezultă foarte clar din pasajul citat mai sus în care Einstein explica superioritatea abordării atomiste în raport cu abordarea fenomenologică.

sfîrșitul secolului trecut și începutul secolului nostru, decît a făcut-o chiar Planck : „Dar să nu ne închipuim că este posibil să înaintăm, chiar în cea mai exactă dintre științele naturii, fără sprijinul unei concepții despre lume, adică fără ipoteze care nu pot fi probate. Și pentru fizică este valabil principiul că nu poți fi fericit fără credință, cel puțin fără credința într-o anumită realitate în afara noastră. Această credință este cea care arată direcția cercetării celei care se străduie să înainteze, numai ea oferă fanteziei căutătoare puncte de plecare, numai ea permite înviorarea din nou a spiritului obosit de insucces și îl stimulează la un nou asalt . . .". (M. Planck /5/, pag. 37.)

Capitolul VI

Raţiuni filosofice ale rezistenţei faţă de fizica nouă. „Fizica germană“ a lui P. Duhem şi „fizica germană“ a lui Ph. Lenard

Planck aprecia, cum am văzut, deja în primul deceniu al secolului, că distincţia dintre lumea senzorială și lumea fizică reală este esenţială pentru asigurarea progresului cunoaşterii fizice. Această distincţie poate să dea socoteală de tendinţa ce se desprinde din examinarea dezvoltării de pînă acum a fizicii teoretice, tendinţa de epurare crescîndă a tabloului fizic al lumii de elemente senzoriale. Dacă admitem că succesiunea tablourilor fizice ale lumii ne apropie tot mai mult de cunoașterea lumii fizice reale, urmează că dezvoltarea ştiinţei teoretice are loc în sensul unei îndepărtări continue de conceptele și ideile familiare. Nu ne putem aştepta deci să realizăm pași importanţi spre ţelul final al cunoaşterii fizice — o cunoaștere pe deplin adecvată a structurilor lumii fizice reale — decît prin elaborarea unor teorii cît mai abstracte, mai îndrăzneţe, care marchează o ruptură tot mai accentuată cu obişnuinţele noastre de gîndire, cu ceea ce numim simţul comun. Desigur că nivelul înalt de abstracţie al unei teorii noi, caracterul neintuitiv al conceptelor și principiilor ei, este doar o condiţie necesară, și nu suficientă, a înaintării spre acest ţel. Este de asemenea esenţial ca teoria să ne ofere posibilităţi superioare de unificare și prospectare ale lumii experienţei. Abia atunci cînd o construcţie teoretică de mare îndrăzneală, care marchează o ruptură cu reprezentări teoretice curente, își probează capacitatea de a asigura o legătură clară și precisă a conceptelor și ideilor ei de bază cu faptele experimentale, capacitatea de a pune în corelaţie fapte între care nu s-a văzut pînă atunci nici o legătură, de a ne conduce la cunoaşterea unor fapte noi, a unor noi caracteristici și legi ale lumii în care trăim, sîntem îndreptăţiţi să apreciem că ea ne apropie de cunoaşterea structurilor de adîncime ale lumii reale. Un asemenea cîştig trebuie plătit adeseori cu preţul reconsiderării nu numai a unor idei familiare, dar chiar a unor obişnuinţe de gîndire adînc înrădăcinate. Reconsiderarea nu înseamnă în acest caz abandonarea pur şi simplu a unor forme familiare de gîndire, ci precizarea limitelor în care ele continuă să funcţioneze eficient, ca prime aproximaţii. Este desigur foarte greu să reexaminăm şi să restructurăm, din punctul de vedere al unei teorii fundamentale, cu adevărat revoluţionare, modul nostru de a privi faptele cele mai comune, şi acest lucru nici nu este necesar în multe cazuri, adică în toate acele situaţii în care recursul la vechile structuri de gîndire nu atrage după sine vreo pierdere. Noile forme de gîndire, ale căror apariţie şi consacrare nu pot fi despărţite de cele mai semnificative contribuţii ale ştiinţei la cunoaşterea structurilor de profunzime ale realităţii, exprimă cel mai bine dublul raport de continuitate şi discontinuitate al lumii ştiinţei teoretice cu lumea noastră practică.

Continuitate există, cum subliniau Planck, Einstein şi alţi mari fizicieni din aceeaşi generaţie care au reflectat asupra raportului teoriilor fizicii noi cu concepţia despre lume, cel puţin din două puncte de vedere. Mai întîi, în sensul că din orizontul de cunoaştere al gîndirii teoretice de avangardă, formele gîndirii comune nu vor apărea ca fiind doar îngrădite în ceea ce priveşte pretenţiile lor de universalitate, de valabilitate absolută, ci totodată ca justificate, adică înţelese şi explicate din punct de vedere teoretic ca aproximaţii, este adevărat rudimentare, dar totuşi ca prime aproximaţii, şi ca îndreptăţite, în limite determinate, prin eficacitatea lor practică. În al doilea rînd, în măsura în care teoriile cele mai abstracte ale fizicii teoretice îşi pot proba valoarea lor de cunoaştere numai prin consecinţele lor experimentale şi prin aplicaţiile lor practice. O discontinuitate reală survine totodată, în mod inevitabil, în măsura în care odată cu asemenea progrese ştiinţifice gigantice, care aduc cu sine restructurări şi la nivelul cel mai profund, la nivelul categorial al gîndirii noastre, putem identifica ceea ce este eronat în distincţii şi corelaţii conceptuale care ne-au apărut înainte drept ceva de la sine înţeles. Iar tematizarea filosofică a acestei discontinuităţi, aşa cum se exprimă ea de exemplu în ideile directoare ale realismului științific al lui Planck, distincția între lumea senzorială și lumea fizică reală și distanțarea continuă a tabloului fizic al lumii de schemele ce structurează convenabil și eficient domeniul experienței fizice directe și lumea experienței noastre practice în general, ne avertizează asupra tentației de a judeca noile construcții ale gîndirii teoretice din punctul de vedere al conformității lor cu cadre conceptuale oarecum „naturale“ ale gîndirii curente, ca și asupra acelor filosofii ale științei a căror influență ar fi de natură să favorizeze o asemenea tentație.

Putem spune astăzi, considerînd retrospectiv evenimentele, că adoptarea spontană sau conștientă a punctului de vedere al realismului științific de către cercetători s-a dovedit esențială nu numai pentru o mai bună înțelegere a sensului progresului cunoașterii fizice, ci și pentru promovarea efectivă a acestui progres. Dimpotrivă, concepția opusă, cea a pozitivismului vremii, care mărginea obiectul fizicii teoretice la lumea senzorială, nu a fost în măsură să promoveze fizica nouă, să stimuleze elaborarea unor teorii de un grad tot mai înalt de abstracție și generalitate. Constatarea că pozitivismul s-a putut adapta, în general, foarte bine fizicii noi și a fost considerat adesea drept baza ei filosofică nu contrazice această apreciere. Dacă ne referim la teoriile restrînsă și generalizată ale relativității, vom observa că începînd din jurul anului 1920, cînd aceste teorii au devenit larg, chiar dacă nu general, acceptate, au apărut numeroase lucrări, unele de mare circulație, scrise de autori cu calificare științifică incontestabilă [1], care interpretau noile idei fizice de pe pozițiile teoriei pozitiviste a cunoașterii. Iar audiența de care s-au bucurat asemenea interpretări în mediile științifice a fost favorizată în mod decisiv de tendința inițială a lui Einstein de a adopta o prezentare operaționalistă a principiilor teoriei restrînse a relativității. S-a creat astfel impresia, dominantă printre istoricii și filosofii nemarxiști ai științei, cel puțin pînă la jumătatea secolului, că ar exista o solidaritate organică între modul de gîndire care a inspirat construcția teoriilor fizicii noi și filosofia pozitivistă a științei.

---

[1] Am în vedere, îndeosebi, lucrările lui M. Schlick, H. Reichenbach sau P. Bridgman.

Este vorba în acest caz într-adevăr de o „impresie", adică de un punct de vedere bazat pe considerații de suprafață, ce se pot dovedi înșelătoare. Cei mai calificați și serioși dintre filosofii științei pun rareori în discuție bazele unei teorii care a fost deja acceptată de specialiști. Ei se străduiesc de obicei să argumenteze că există un acord cuprinzător între spiritul, structura conceptuală și ideatică a noilor teorii, care se află în centrul interesului științific, și principiile propriei lor filosofii. Așa s-au petrecut lucrurile și cu teoria relativității, mai ales după 1920. Într-o lucrare apărută în 1924, A. Wenzl examina amănunțit, pe baza literaturii existente, raportul teoriei relativității cu cîteva din cele mai influente orientări epistemologice — pozitivismul, ficționalismul și realismul științific — și ajungea la concluzia semnificativă că s-a putut arăta cel puțin compatibilitatea principiilor teoriei cu aceste orientări reciproc incompatibile. Posibilitatea elaborării unei interpretări coerente a teoriei relativității, pe baza principiilor filosofiei pozitiviste a științei, nu poate să probeze însă nici că teoria este de inspirație pozitivistă și nici că succesul ei științific ar fi dovedit fertilitatea acestei filosofii. Diferitele exprimări din scrierile de tinerețe ale lui Einstein, care sugerează o interpretare operaționalistă, în esență pozitivistă, a conceptelor de bază ale relativității restrînse[2] nu constituie, nici ele, un argument mai puternic în acest sens. Asemenea exprimări sînt, mai întîi, puțin semnificative în măsura în care reprezintă adeseori ecoul unor lecturi filosofice nesistematice făcute de Einstein în anii așa-numitei „Academii Olimpia“, în special al lecturilor din Hume și Mach.

---

[2] Asemenea exprimări pot fi întîlnite chiar și în celebrul memoriu al lui Einstein din 1905, *Despre electrodinamica corpurilor în mișcare*, și îndeosebi în corespondența lui cu Mach și în necrologul pe care l-a scris la moartea acestuia. Deosebit de semnificative pentru acest fel de a vorbi al lui Einstein sînt cîteva rînduri dintr-o scrisoare către Solovine, din 24 aprilie 1920 : „Ceea ce caracterizează teoria relativității este mai degrabă un punct de vedere epistemologic. Nu există în fizică noțiune a cărei folosire să fie *a priori* necesară sau justificată. Teoria relativității renunță la conceptul de simultaneitate absolută, viteză absolută, accelerație absolută, fiindcă corelarea lor univocă cu lumea trăirilor s-a dovedit imposibilă. Aceeași soartă o au conceptele de plan, linie dreaptă etc., pe care se întemeiază geometria euclidiană. Fiecare concept fizic trebuie să primească o asemenea definiție încît pe temeiul acesteia să se poată decide adecvarea sau neadecvarea lui, într-un caz concret." (Vezi A. Einstein /10/, pag. 21.) Elementul vulnerabil al acestei poziții nu constă în cerința ca noțiunile și principiile teoriei să poată fi supuse controlului experienței și ca predicțiile derivate pe baza lor să treacă cu succes testele, ci, așa cum indica chiar Einstein mai tîrziu, în exigența ca fiecare concept fizic, considerat separat, să primească o definiție operațională.

Unii autori contemporani sugerează că este util să distingem exprimările filosofice ocazionale ale lui Einstein din prima perioadă a activității sale științifice de supozițiile filosofice latente care l-au condus efectiv în multe din cercetările sale. Cu referire la contribuțiile lui Einstein la desăvîrșirea teoriei cinetice a gazelor și la aplicarea cuantei de acțiune a lui Planck dincolo de limitele teoriei radiației calorice, prin elaborarea teoriei cuantice a luminii și a efectului fotoelectric[3], B. Kanitschneider numește punctul de vedere metodologic adoptat implicit de Einstein *realism ipotetic*. Acest punct de vedere era în contradicție flagrantă cu atitudinea intransigent ostilă a pozitivismului vremii față de introducerea entităților teoretice în explicația fizică. Astfel, mai întîi prin practica sa teoretică, și abia mai tîrziu prin reflecțiile sale metodologice[4], Einstein a contribuit la punerea de acord a teoriei științei cu caracteristicile reale ale construcției teoretice. S-a arătat de asemenea că dacă teoria relativității restrînse este formulată într-un limbaj neoperațional, chiar fără referire la observator, nu se pierde nimic din conținutul ei fizic.

De fapt, doar unele din conceptele și ideile de bază ale relativității restrînse pot fi acomodate convenabil unei viziuni operaționaliste, fenomenaliste asupra cunoașterii fizice. Încă A. Wenzl observa, pe bună dreptate, că dacă relativitatea spațiului și a simultaneității pot fi interpretate în sensul dependenței lor de observator, în schimb continuul cvadridimensional, un alt element central al conținutului fizic al teoriei, depășește evident tot ceea ce ar putea fi constatat direct prin experienţă şi favorizează, prin urmare, o interpretare realistă, antipozitivistă a teoriei. (Vezi A. Wenzl, pag. 152—153.) O poziţie mai radicală adoptă acei istorici ai ştiinţei care susţin că în mod obiectiv, independent de influenţa stimulatoare pe care ar fi putut s-o aibă unele din reflecţiile istorico-critice ale lui Mach asupra gîndirii tînărului Einstein [5], acesta nu ar fi putut elabora teoria restrînsă a relativităţii dacă ar fi fost consecvent cu principiile generale ale epistemologiei lui Mach. (Vezi E. Zahar.) [6]. În sfîrşit, nu trebuie să pierdem din vedere faptul că după elaborarea teoriei generalizate a relativităţii, o teorie extrem de abstractă care este testabilă numai prin puţine consecinţe, Einstein a reflectat mai profund asupra semnificaţiei realizărilor sale teoretice din punctul de vedere al unei concepţii generale asupra naturii şi sensului cunoaşterii fizice, şi şi-a reformulat concepţiile metodologice repudiind epistemologia machistă [7] şi filosofia pozitivistă a ştiinţei în general [8] de pe pozițiile unui realism de nuanță raționalistă, care a căpătat contururi tot mai nete în ultimele trei decenii ale vieții sale. (Vezi G. Holton /2/, îndeosebi pag. 129—137.)

---

[3] Aceste contribuții sînt apreciate de H. J. Treder ca realizări științifice cu mari consecințe pentru imaginea științifică asupra lumii, care pot fi puse pe același plan cu teoria restrînsă a relativității.

[4] Vezi, de exemplu, foarte semnificativul pasaj din articolul său *Fizica și realitatea*, apărut în 1936, pe care l-am citat mai sus, în care Einstein relevă marile avantaje ale abordărilor atomiste și, în general, ale adoptării unui punct de vedere constructiv-speculativ asupra naturii conceptelor și ideilor fizicii teoretice pentru progresul cunoașterii fizice.

---

[5] Einstein a semnalat şi în publicaţiile lui mai tîrzii o asemenea influenţă.

[6] O argumentare mai convingătoare a acestei teze găsim în valorosul studiu istorico-critic al lui G. Holton, consacrat evoluţiei concepţiilor filosofice ale lui Einstein. „Teoria relativităţii, observă el, se străduie să deplaseze adevărurile fundamentale, elementare de pe planul experienţei directe, brute, în spaţiu şi timp, pe planul unui model matematizat al universului, ce implică o unificare a spaţiului şi timpului, care, inaccesibilă direct senzaţiei, amintea, în această privinţă, spaţiul şi timpul absolute pe care Mach le considera ca 'monştri metafizici' ". (G. Holton /2/, pag. 125.)

[7] Deja în 1923, într-un articol publicat în revista *Nature*, Einstein scria : „Sistemul lui Mach studiază relaţiile existente între datele experienţei ; pentru Mach ştiinţa este totalitatea acestor relaţii. Acest punct de vedere este greşit şi, în realitate, ceea ce a făcut Mach este să alcătuiască un catalog, nu un sistem." (Citat după B. Kanitschneider /1/, pag. 159.) Într-o scrisoare din 24 ianuarie 1938, adresată lui G. Lanczos, el caracteriza astfel evoluţia istorică a poziţiei sale filosofice : „Am pornit de la un empirism sceptic, oarecum de felul celui profesat de Mach ; problema gravitaţiei m-a transformat într-un raţionalist convins, adică într-un om care caută în simplitatea matematică singura sursă demnă de încredere a adevărului." (Citat după G. Holton /2/, pag. 130.)

[8] Interesantă în această privinţă este opinia lui K. R. Popper. Caracterizînd punctul de vedere al interpretării pe care a dat-o Einstein teoriei relativităţii pînă în jurul anului 1920 ca „pozitivist" şi „operaţionalist", Popper scrie : „El a respins mai tîrziu această interpretare ; în 1950, el mi-a spus că nu

Dincolo de raportările unor filosofi pozitiviști la teoriile fizice deja consacrate și de remarcile filosofice oarecum oscilante ale lui Einstein din prima perioadă a activității sale științifice, hotărîtoare pentru aprecierea relației obiective a teoriei pozitiviste a cunoașterii fizice cu fizica nouă rămîne, cred, examinarea raportului dintre poziția fenomenalistă principială a acestei teorii și caracteristicile noilor construcții teoretice, sensul general în care s-a dezvoltat construcția teoretică în fizică.

Mach s-a menținut pînă la sfîrșitul vieții sale pe pozițiile unui fenomenalism radical. El considera că „lumea reală“ este lumea trăirilor noastre senzoriale, a „faptelor“, și că singura justificare a introducerii teoriilor este că ele permit o descriere sinoptică, economică a „faptelor“. „Numai regulile intelectuale, în care rezumăm o sumă de observații senzoriale, aparțin unei lumi mai libere a gîndirii. Valoarea acestor reguli este însă determinată de precizia cu care ele exprimă observațiile senzoriale, precizie care este limitată permanent în lipsa unor măsurători precise. În cele din urmă, chiar și regulile reprezentării matematice a senzorialității *(Sinnlickeit)*, oricît de multă libertate de alegere ar permite, provin din senzorialitatea însăși ... În orice caz, dincolo de fenomenele senzoriale fizicianul nu are deci nimic de căutat.“ (E. Mach /9/, pag. 30—31.) Țelul științei teoretice este caracterizat de Mach ca fiind adaptarea ideilor (gîndurilor) la fapte, precum și realizarea acordului ideilor unele cu celelalte. Apropierea de acest țel se realizează prin reducerea unui număr cît mai mare de fapte la legi empirice și prin reducerea acestor legi empirice la legi mai generale. O lege științifică, cît de generală, va exprima corelații funcționale între variabile determinate, care au corespondent direct în mărimi concrete, măsurabile. Legile și teoriile științifice autentice au deci

---

regretă nici o greșeală pe care a făcut-o vreodată atît de mult ca această greșeală.“ (K. R. Popper /6/, pag. 76.) Einstein însuși a semnalat o evoluție a vederilor sale epistemologice. Prezentînd ceea ce numește *credo*-ul său, el notează : „Acest *credo* s-a dezvoltat mult mai tîrziu și încet, și nu corespunde situării mele din anii mai tineri. (Einstein /7/, pag. 4.)

doar o funcţie *descriptivă*, şi nu una *explicativă*. Consecinţele ce decurg din această perspectivă epistemologică generală pentru aprecierea teoriilor fizicii noi sînt clare şi lipsite de echivoc. Teorii fizice cu funcţii propriu-zis explicative, care introduceau entităţi ce transced experienţa, cum era teoria cinetică moleculară a lui Boltzmann, au fost caracterizate de Mach drept „fizică ipotetic-fictivă". (Vezi E. Mach /8/, pag. 9.) Or, cele mai semnificative evenimente din primul deceniu şi jumătate al secolului nostru, pe care Mach a continuat să le urmărească cu atenţie, fizica electronului, teoria corpusculară a luminii, teoria relativităţii şi teoria cuantelor, erau evident reprezentative pentru această tendinţă pe care el o incrimina în exprimarea de mai sus.[9] Mach nu a ascuns de fapt, în ultimele sale lucrări, îndeosebi în polemica cu Planck, decepţia amară pe care i-o provoca conştiinţa faptului că gîndirea fizică se orientează într-o direcţie contrară aşteptărilor sale.[10] Îndoieli cu privire la incompatibilitatea dintre viziunea lui Mach asupra căilor de dezvoltare ale cunoaşterii fizice şi tendinţa care s-a impus de fapt în fizica teoretică de la începutul secolului ar fi putut exista numai în ceea ce priveşte teoria relativităţii, ţinînd seama mai ales de împrejurarea că Einstein s-a considerat pînă la moartea lui Mach (1916), un discipol al acestuia, aşa cum reiese cel mai bine din corespondenţa lor în anii 1909—1913. Omagiul lui Einstein nu a influenţat însă judecata rece a lui Mach cu privire la tendinţa pe care o reprezintă teoria relativității[11]. În această privință Mach s-a exprimat fără echivoc într-o prefață scrisă în iulie 1913 pentru primul volum al cărții sale *Principiile opticii geometrice*, prefață care a devenit cunoscută abia odată cu publicarea postumă a lucrării. Mach aprecia aici teoria relativității ca tot atît de străină concepției sale despre căile de dezvoltare ale fizicii ca și teoriile atomiste[12], și promitea să ofere, în al doilea volum al lucrării, care nu a mai fost scris, argumente, atît epistemologice, cît și experimentale, împotriva teoriei relativității. Mai mulți istorici ai lui Einstein, în primul rînd G. Holton, susțin că această judecată i-a deschis ochii lui Einstein, permițîndu-i să ajungă la o apreciere mai echilibrată a teoriei științei a lui Mach, pe care o evaluase pînă atunci mai ales din perspectiva contribuției pe care a adus-o la critica bazei conceptuale a fizicii lui Newton. (Vezi G. Holton /2/, îndeosebi pag. 112—116.)[13]

---

[9] Opoziţia consecventă a lui Mach faţă de atomistică nu a fost deci accidentală, cum au lăsat să se înţeleagă mai tîrziu autori aparţinînd tradiţiei pozitiviste. (Vezi, de exemplu, R. Carnap, H. Hahn, O. Neurath, pag. 202—203.) Dimpotrivă, neîncrederea şi chiar ostilitatea faţă de orice teorie ştiinţifică explicativă trebuie privite drept consecinţe ale adoptării principiilor epistemologice ale lui Mach. Rezervele faţă de teoriile explicative, pentru a nu spune mai mult, continuau să fie caracteristice, cum recunoştea Carnap (vezi R. Carnap, pag. 20), şi pentru poziţia discipolilor mai tîrzii şi a continuatorilor mai liberali ai lui Mach din cadrul cercului de la Viena.

[10] „Vedem că fizicienii sînt pe cale de a deveni o biserică şi îşi însuşesc deja mijloacele obişnuite ale acesteia. La aceasta răspund simplu : dacă credinţa în realitatea atomului este pentru voi aşa de esenţială, mă desolidarizez de modul de gîndire fizic, nu mai doresc să fiu un fizician autentic, renunţ la preţuirea comunităţii ştiinţifice, pe scurt, mă desprind de comunitatea credincioşilor. Căci pun mai mult preţ pe libertatea de gîndire." (E. Mach /8/, pag. 11—12.)

Merită, de fapt, să fie subliniat, chiar cu prețul unei scurte digresiuni, că distanțarea tot mai netă a lui Einstein față de ideile de bază ale teoriei machiste a cunoașterii nu implică retractarea afirmațiilor sale cu privire la rolul stimulator pe care l-a avut înrîurirea ideilor lui

---

[11] G. Holton /2/, pag. 117) apreciază că „Mach își dăduse seama, din ce în ce mai clar, cu mult înainte ca 'discipolul' său să fi devenit conștient de acest lucru, de faptul că Einstein 'părăsise terenul' interpretării empirio-criticiste a fenomenelor".

[12] „Din publicațiile ce mi-au parvenit și înainte de toate din corespondența mea (o aluzie transparentă la scrisorile pe care i le adresa Einstein — M.F.) trag concluzia că mie mi se atribuie cu încetul rolul de precursor al teoriei relativității. Acum pot să-mi fac o imagine aproximativă despre interpretările și comentariile pe care le vor primi din această parte, în viitor, unele din gîndurile exprimate în *Mecanica* mea. Dacă filosofii și fizicienii predică o cruciadă împotriva mea, trebuie să socotesc acest lucru drept firesc și eram cu totul de acord cu aceasta. Căci am fost, în diferite domenii, cum am arătat în mod repetat, doar un simplu drumeț cu idei proprii. Trebuie însă să resping sugestia că aș fi precursorul relativiștilor cu aceeași hotărîre cu care am respins credința atomistă a școlii sau a bisericii actuale." (E. Mach /10/, pag. VIII.)

[13] Mult mai tîrziu, Einstein va nota, în contextul unei aprecieri de ansamblu, a pozițiilor lui Mach : „În rest, este interesant de notat că Mach a respins cu înverșunare teoria relativității restrînse. (El nu mai trăia în epoca teoriei generalizate a relativității.) Teoria i se părea că depășește în speculație tot ce este permis. El nu știa că acest caracter speculativ aparține de asemenea mecanicii lui Newton și, în general, oricărei teorii imaginabile." (A. Einstein /12/, pag. 231.)

Mach asupra orientării gîndirii sale științifice. Influența lui Mach asupra lui Einstein merită o atenție deosebită, între altele, fiindcă arată cum o teorie epistemologică în esență de nesusținut, poate totuși, într-un context istoric determinat, să favorizeze apariția unei teorii științifice revoluționare. Deosebit de interesant este că în momentul istoric de criză a programului mecanicist, pe care acesta îl parcurgea la sfîrșitul secolului trecut și în primul deceniu al secolului nostru, tocmai cerința pozitivistă a raportării directe a tuturor conceptelor fizicii la experiența senzorială, subliniată insistent de Mach, cerință pe care Einstein o va aprecia mai tîrziu ca fundamental greșită și dăunătoare pentru orientarea generală a cercetării, a avut, cel puțin din punct de vedere psihologic, un efect eliberator, contribuind la diminuarea puterii tiranice a conceptelor și reprezentărilor tradiționale. Dacă concepția pozitivistă, fenomenalistă, asupra naturii conceptelor științifice, în formularea radicală pe care i-a dat-o Mach, nu era singurul punct de plecare posibil pentru critica supozițiilor dogmatice ale fizicii mecaniciste, nu este mai puțin adevărat că într-o epocă în care fundamentele fizicii erau sustrase examinării critice, Mach a fost primul care le-a pus în discuție, pornind tocmai de la o asemenea concepție. Critica machistă a fundamentelor fizicii, deși inspirată de o filosofie în esență inadecvată spiritului cunoașterii teoretice, a putut totuși pregăti terenul pentru acea reconsiderare revoluționară a fundamentelor pe care o reprezintă teoria einsteiniană a relativității. Tocmai acest aspect a fost subliniat, în mod repetat, și pe drept cuvînt, de către Einstein, de cîte ori s-a referit la ceea ce îi datorează lui Mach. Bunăoară, într-un articol publicat într-un ziar vienez cu ocazia dezvelirii unui monument dedicat lui Mach, Einstein scria : „Cea mai puternică din motivațiile lui Mach era de ordin filosofic ; valoarea tuturor conceptelor și enunțurilor științifice are ca bază unică experiențele separate *(Einzelerlebnisse)* la care se referă conceptele. Această idee fundamentală l-a călăuzit în toate cercetările și i-a dat tăria să examineze conceptele tradiționale fundamentale ale fizicii (timp, spațiu, inerție) cu o independență pe care epoca nu o cunoștea.“ (Citat după G. Holton /2/, pag. 105.) Sugestia că tocmai idei epistemologice deosebit de vulnerabile au reprezentat resortul criticii radicale a fundamentelor fizicii, întreprinsă de Mach în *Mecanica* sa, revine și în luări de poziții mai tîrzii ale lui Einstein: „Marele său merit este de a fi înmlădiat dogmatismul ce domnea în secolul al XVIII-lea și al XIX-lea în ceea ce privește fundamentele fizicii. El a încercat să arate, mai ales în mecanică și în teoria căldurii, cum s-au născut noțiunile din experiență. El a apărat cu convingere punctul de vedere după care conceptele, chiar cele fundamentale, nu-și derivă justificarea decît din experiență și nu sînt, în nici un fel, necesare din punct de vedere logic." (A. Einstein /12/, pag. 230—231.)[14] În mod explicabil, mulți contemporani au crezut că un impuls atît de stimulator spre reînnoire nu putea să vină decît de la o filosofie care reprezintă expresia fidelă a spiritului științei pozitive. Einstein însuși a făcut în tinerețea sa această greșeală, cum se poate vedea foarte bine din scrisorile pe care le-a adresat lui Mach și din necrologul pe care l-a scris la moartea acestuia. Mai tîrziu, cînd punctul său de vedere realist-raționalist asupra cunoașterii fizice a căpătat contururi mai nete, el a semnalat-o în mod repetat, insistînd asupra corectării aprecierilor sale inițiale.

Printre rațiunile filosofice ale rezistenței cercetătorilor conservatori față de teoriile fizicii noi, în particular, față de teoria relativității, un loc aparte îl ocupă invocarea incompatibilității acestora cu cerințe pretins universale, atemporale ale rațiunii și inteligibilității științifice. La începutul secolului asemenea argumente au fost produse îndeosebi de fizicieni atașați spiritului cartezian, idealurilor clasice ale inteligibilității, precum și de fizicieni experimentatori înclinați să judece noile teorii ale fizicii matematice ca speculații gratuite, ce ar corupe spiritul pozitiv, sănătos, care a inspirat pînă atunci dezvoltarea cunoașterii fizice[15].

Astfel, într-o scriere cu caracter de pamflet, publicată în timpul primului război mondial, P. Duhem exprima îndoieli grave cu privire la valoarea și fertilitatea științifică ale teoriei relativității. Teoria relativității îi apărea drept tipică pentru o tendință sau orientare generală a gîndirii fizice, orientare pe care o numea „știință germană". Atacul lui Duhem împotriva „științei germane" își are, dacă nu cauza, atunci cel puțin întemeierea, într-o reprezentare metodologică de factură tradițională care ar putea fi rezumată astfel : orice teorie valoroasă din științele exacte ale naturii se constituie grație conlucrării armonioase a două facultăți, una intuitivă, pe care Duhem o numește „simț comun" sau „bun simț", prin care dobîndim axiomele sau principiile teoriei, și una deductivă sau discursivă, prin care derivăm pe cale matematică consecințe din principii [16] ; aceste facultăți își găsesc cea mai deplină afirmare în ceea ce B. Pascal a numit „spirit de finețe" și „spirit geometric", și corespund părții prin excelență creatoare și respectiv celei preponderent de rutină ale muncii științifice. „Spiritul francez", caracterizat prin unirea „bunului simț" cu „claritatea", prin solicitarea egală și îmbinara fericită a „spiritului geometric" și a „spiritului de finețe", a făcut posibile, după Duhem, marile realizări ale științei secolului trecut și trebuie să-i conducă și pe mai departe pe toți creatorii autentici [17]. În opoziție cu „spiritul francez", „spiritul german" este vitregit de o slabă dezvoltare a „simțului comun" și tinde să acorde o încredere nelimitată metodei deductive. Prin expresia „știință germană" Duhem desemnează tocmai acele produse ale gîndirii științifice în care spiritul geometric covîrșește și anulează, în cele din urmă, spiritul de finețe. „Absența spiritului de finețe face să se caște o prăpastie între dezvoltarea ideilor și observarea faptelor ; ideile se deduc unele din altele, mîndre de a contrazice simțul comun, de la care n-au împrumutat nimic ; simțul comun mînuiește realitățile și constată faptele cu propriile lui mijloace, fără să-i pese de teorie, care îl ignoră sau îl șochează ; acesta este spectacolul pe care ni-l prezintă destul de des, astăzi, fizica de dincolo de Rin.“ (P. Duhem /3/, pag. 126.)[18] Cele mai reprezentative manifestări ale fizicii noi, în primul rînd teoria relativității, sînt apreciate de Duhem ca tipice pentru deformările pe care le-a incriminat sub numele de „știință germană“. În loc de a adapta teoriile optice rezultatului experimentului lui Michelson, creatorii teoriei relativității s-au ridicat împotriva simțului comun încercînd să pună de acord acest rezultat cu ecuațiile electrodinamicii prin revizuirea conținutului rațional evident al conceptelor de spațiu și timp[19].

---

[14] În continuarea pasajului citat, Einstein supune criticii tocmai acest punct de vedere al lui Mach cu privire la felul cum „se nasc noțiunile din experiență".

[15] Bunăoară, A. Michelson, care a primit Premiul Nobel pentru celebrul experiment care-i poartă numele, a avut pînă la moartea sa, în 1931, o atitudine negativă față de teoria relativității. El își manifesta regretul că acest experiment a putut favoriza nașterea unui „asemenea monstru".

---

[16] „În orice știință care a primit forma ce este numită rațională, formă ce poate fi numită mai bine matematică, trebuie să distingem într-adevăr două tactici, cea care cîștigă principiile și cea care ajunge la concluzii." (P. Duhem /3/, pag. 105.)

[17] „Hrăniți-vă spiritul cu operele în care autorul a știut să facă separarea legitimă între spiritul de finețe și spiritul geometric, în care o intuiție pătrunzătoare a sesizat principiile și o deducție riguroasă a derivat consecințele. Dar, veți spune poate, știința s-a schimbat mult din epoca în care scriau acești oameni mari. Știința da, dar nu modul de a o face sau cel puțin de a o face bine." (P. Duhem /3/, pag. 93.)

Atitudinea lui Duhem față de teoria relativității este o expresie deosebit de clară, am zice tipică, a acelei mentalități, în esență pozitivistă, care încearcă să bareze noile căi de acces spre o cunoaștere mai profundă a realității fizice, invocînd fapte ale experienței științifice curente și deprinderi de gîndire constituite prin raportare la această experiență[20]. Odată ce simțul comun și evidența rațională sînt instituite în calitate de criterii supreme ale adevărului și valorii științifice, rezultă că procedura atît de caracteristică creatorilor fizicii noi, de a deduce din principii lipsite de evidență, va fi respinsă din capul locului ca incompatibilă cu spiritul științei pozitive. Cel mai obtuz conservatorism pare să primească astfel o nobilă justificare filosofică.

---

[18] Nu trebuie totuși să se înțeleagă că Duhem identifică pur și simplu „spiritul german“ și „fizica germană“ cu fizica cercetătorilor germani în general și cu totalitatea produselor activității lor. Admițînd că lipsa simțului comun și a spiritului de finețe este foarte răspîndită la cercetătorii germani, el recunoaște totuși că acest defect este evident mai ales în operele de mîna a doua, produse de cercetători mediocri, și nu în creația marilor maeștri, a unui Clausius sau Helmholtz, care scapă unor asemenea mărginiri. (Vezi P. Duhem /3/, pag. 89 și 104—105.) Duhem va contesta însă această mărime cercetătorilor germani contemporani, unui Einstein, Minkovski sau von Laue. Tendința de a privi istoria științei cu ochii celui stăpînit de sentimentele exacerbat naționaliste ale momentului este evidentă și rămîne greu de înțeles la o personalitate de talia lui Duhem.

[19] „Faptul că principiul relativității tulbură toate intuițiile simțului comun nu a fost de natură să trezească neîncrederea față de el fizicienilor germani. A-l accepta, înseamnă implicit a răsturna toate doctrinele despre spațiu, timp și mișcare, toate teoriile mecanicii și fizicii ; o asemenea pustiire nu are nimic care ar putea să displacă gîndirii germane ; pe terenul pe care l-a curățat de vechile doctrine, spiritul geometric al germanilor se va angaja cu inimă ușoară să reconstituie o întreagă fizică, căreia principiul relativității îi va fi fundamentul. Dacă această fizică nouă, care disprețuiește simțul comun, lovește în tot ce experiența a permis să se construiască în domeniul mecanicii cerești și terestre, metoda pur deductivă nu va fi decît mai mîndră de rigoarea inflexibilă cu care a urmărit pînă la capăt consecințele ruinătoare ale postulatelor ei.“ (P. Duhem /3/, pag. 136.)

Este interesant de observat că argumente epistemologice asemănătoare cu cele invocate de Duhem revin, ca motive dominante, în ofensiva antirelativistă declanșată în Germania de unii fizicieni tradiționaliști, care a fost apoi continuată și amplificată de un mare număr de diletanți[21]. Răspunzînd primilor, în special lui Ph. Lenard, la Congresul fizicienilor germani de la Bad Nauheim (1920), Einstein sublinia că simțul comun, intuiția și evidența rațională nu pot fi invocate ca arbitri în probleme de fizică : „Doresc să spun că ceea ce omul consideră intuitiv sau nu se schimbă. Punctul de vedere asupra intuitivității este, într-un fel, o funcție a timpului. Cred că fizica este conceptuală, nu intuitivă. Ca exemple de schimbare a părerii asupra intuitivității, vă amintesc concepția asupra intuitivității mecanicii galileene în diferite epoci." (Citat după H. Melcher, pag. 16.)

Epilogul grotesc al acestei opoziții conservatoare față de construcții îndrăznețe ale gîndirii fizice, caracterizată printr-un nivel deosebit de înalt de abstractizare și matematizare, l-a constituit campania împotriva fizicii noi dezlănțuită de către protagoniștii așa-numitei „fizici germane", în anii celui de-al treilea Reich. Pentru ei, fizica nouă a devenit „fizică evreiască"[22]. În această campanie justificările de ordin metodologic se împletesc strîns cu sloganele rasiste și antisemite ale propagandei național-socialiste [23]. Promotorii „fizicii germane“ au fost cercetători ca Ph. Lenard, J. Stark și R. Thomasek sau filosofi interesați în mod deosebit de problemele filosofice ale fizicii, ca H. Dingler, care atacaseră încă în anii de după primul război mondial teoria relativității de pe pozițiile fizicii tradiționale. Ei menționau printre principalele caracteristici ale unei fizici „sănătoase“, claritatea, intuitivitatea, primatul fizicii experimentale, ca adevărată bază a întregii fizici [24], moderația extremă în utilizarea instrumentelor matematice [25], rezerva față de teoriile abstracte, neintuitive. Aceste caracteristici ar rezulta din trăsăturile fundamentale ale spiritului arian și ar exprima „determinarea rasială a gîndirii științifice“. Ele și-ar fi găsit o deplină dezvoltare în cadrele fizicii mecaniciste tradiționale [26]; „fizica germană“ nu trebuie să iasă din aceste cadre. Fizica nouă ar fi degenerat printr-un exces de formalizare și matematizare, care ar

---

[20] Duhem a fost secondat de pamfletari de rînd, care au extins cu ușurință iresponsabilă judecata lui depreciatoare asupra altor domenii ale fizicii noi. Astfel, J. Achalme (*La science des civilisées et la science allemande*, 1915) califica teoria cuantelor a lui Planck drept „delir matematic-metafizic". (Vezi A. Kleinert /1/, pag. 515.)

[21] Titluri ca *Rațiunea împotriva relativității*, *Greșeala în teoria relativității a lui Einstein* sînt caracteristice pentru factura acestei producții literare. Numărul celor dornici să apere „rațiunea sănătoasă" de acțiunea „corupătoare" a teoriilor lui Einstein este atît de mare încît au putut apărea culegeri, poate impresionante pentru un public mai puțin prevenit, ca *„1000 de autori împotriva lui Einstein"*. (Vezi, de exemplu, H. J. Treder.)

[22] O culegere care cuprinde lucrări prezentate la un colocviu de fizică teoretică ținut la Universitatea din München,

---

în 1941, editată de W. Müller, poartă titlul *Judische und Deutsche Physik (Fizică evreiască și fizică germană).* Nu poate să nu atragă atenția că aceste expresii nu sînt nici cel puțin puse între ghilimele. Mai înainte, în 1936—37, Ph. Lenard, care a consacrat, se pare, această locuțiune, își publicase lucrările în patru volume sub titlul *Deutsche Physik.*

[23] „Sursa fizică propriu-zisă a 'fizicii germane' a fost ostilitatea adepților ei față de teoria relativității și mecanica cuantică, deși aceasta nu era întemeiată numai pe rațiuni fizice. În general, ostilitatea față de dezvoltările pe atunci moderne din fizică a reprezentat, alături de motivele politico-ideologice, o dominantă a 'fizicii germane' “. (St. Richter, pag. 123.)

[24] H. Dingler scrie, de pildă, că punctul de plecare al întregii gîndiri fizice a cercetătorului arian trebuie să-l constituie „trăirea proaspătă, neatinsă de nici o îndoială, a vieții de toate zilele“. (Vezi St. Richter, pag. 119.)

[25] Una din caracteristicile care opune „fizica germană“ „fizicii evreiești“ ar fi că prima se descurcă cu puțină matematică. În fizica nouă, claritatea proprie gîndirii nordice ar fi fost distrusă de excesul de matematizare. Răsturnînd o formulă celebră a lui Kant, un propagandist al „fizicii germane“ scria pur și simplu că „în fiecare știință a naturii se va găsi tot atîta știință autentică a naturii și cunoaștere a naturii cîtă matematică nu este conținută în ea“. (Vezi St. Richter, pag. 124.)

[26] „Rezultatele dobîndite prin experiment vor trebui descrise, interpretate și explicate în mod intuitiv. Aceasta trebuie să se realizeze cu 'metodele clasice ale fizicii' pe 'terenul solid al fizicii clasice'. Fundamentul acestei explicații 'intuitiv-clasice' a

exprima cel mai bine acţiunea dizolvantă a „spiritului evreiesc“ asupra gîndirii ştiinţifice.

Cele mai persistente şi brutale atacuri au fost îndreptate împotriva teoriei relativităţii şi a mecanicii cuantice, calificate drept teorii „speculative“, „lipsite de bază experimentală“, „neinteligibile“ sau „dogmatice“ [27]. Concluzia la care ajungeau inevitabil cei mai zeloşi şi consecvenţi militanţi pentru „fizica germană“ nu putea fi decît necesitatea eliminării acestor teorii din sistemul cunoaşterii fizice. „Cuantele sînt corpuri străine în fizică şi înlăturarea lor ar fi o eliberare“, scria un autor (vezi St. Richter, pag. 124), iar altul îi prevenea pe fizicienii care mai îndrăzneau să afirme valoarea ştiinţifică a teoriei relativităţii în următorii termeni : „Cel care mai pledează astăzi pentru fizica evreiască, în înfăţişarea teoriei relativităţii şi o glorifică ca noua bază a cercetării viitoare a naturii, dobîndită în secolul XX, acela sădeşte, că o face intenţionat sau nu, spiritul evreiesc în sufletele germane şi le face neroditoare pentru adevărata cercetare a naturii“. (Vezi St. Richter, pag. 126.) Cei mai extremişti reprezentanţi ai mişcării mergeau chiar mai departe, extinzînd asemenea judecăţi şi asupra electrodinamicii lui Maxwell, vinovată de a se fi îndepărtat prea mult de „intuitivitatea“ şi „evidenţa raţională“ a descrerilor mecanice. (Vezi St. Richter, pag. 124—125.)

„Fizica germană“ a reprezentat o împletire stranie, grotescă între conservatorismul ştiinţific şi o ideologie ultrareacţionară, ceea ce făcea ca apărarea deschisă a celor mai revoluţionare teorii ale fizicii secolului nostru să devină pentru cercetătorii dinăuntrul graniţelor celui de-al treilea Reich aproape echivalentă cu un delict politic [28]. Acest episod ne-ar putea apărea astăzi ca un vis

---

fenomenelor fizice trebuie să-l constituie mecanica ; 'o deplasare a mecanicii din poziţia ei de fundament al fizicii' trebuie exclusă.“ (St. Richter, pag. 119.)

[27] Teoriile restrînsă şi generalizată ale relativităţii erau descrise ca sisteme de formule „care au luat naştere din consideraţii pe de-a-ntregul nedovedite şi lacunare şi prin extrapolări uriaşe“, drept „capricii lipsite de însemnătate ale matematicienilor“ sau ca „o mare intrigă şi sugestie de masă“, iar relaţiile de imprecizie ale lui Heisenberg erau caracterizate ca „fantezii metafizice“. (Vezi St. Richter, pag. 124.)

[28] Nu un pamfletar oarecare, ci un fizician de talia lui J. Stark, a ajuns atît de departe încît a putut să scrie în anul 1937, veştejindu-i în public pe apărătorii noilor idei fizice :

urît, dar este mai bine să vedem în el un avertisment, mereu actual, cu privire la consecinţele dezastruoase pe care le poate avea, cu deosebire în epoca noastră, orice încercare de a reprima idei ştiinţifice noi cu mijloace de felul celor utilizate de susţinătorii „fizicii germane". Căci, „fizica germană" nu a fost numai o orientare intrinsec lipsită de fertilitate ştiinţifică ; dincolo de domeniile tradiţionale ale mecanicii clasice şi ale teoriei electricităţii, ea a avut, în limitele sferei de acţiune a susţinătorilor ei, o influenţă paralizantă asupra dezvoltării gîndirii teoretice. Această influenţă s-a manifestat cu precădere în domenii noi ca cele ale fizicii nucleare şi ale fizicii cîmpului, contribuind, alături de alţi factori, la pierderea poziţiei fruntaşe pe care o deţinuse Germania în fizica teoretică pînă în jurul anului 1930. Considerată din unghiul de vedere strict al cunoaşterii fizice, această tentativă unică, fără precedent, de a restaura în ştiinţă valori şi criterii revolute ne aminteşte remarca incisivă a lui Marx : „Hegel face undeva observaţia că toate marile evenimente şi personalităţi care au importanţă istorică mondială apar, ca să zicem aşa, de două ori. El a uitat să adauge : prima oară ca tragedie, a doua oară ca farsă." (K. Marx, pag. 119.)

„Heisenberg este doar un exemplu pentru mulţi alţii. Ei toţi împreună sînt locotenenţi ai evreimii în viaţa spirituală germană, care trebuie să dispară, la fel ca şi evreii înşişi." (St. Richter, pag. 126.)

PARTEA A DOUA

Presupoziţii filosofice în interpretările mecanicii cuantice

„Este în natura științei să-și ascundă prejudecățile filosofice, dar este de datoria istoricului și filosofului științei să le scoată la iveală de sub suprastructura edificiului științific. Pentru această sarcină biografiile, corespondența și remarcile autobiografice oferă în general mai multă informație decît publicațiile științifice ele însele.“

M. JAMMER (1966)

Rolul ideilor și supozițiilor filosofice ca determinante ale gîndirii științifice a primit o expresie particulară, specifică în discuțiile și controversele asupra interpretării teoriei cuantelor, care au însoțit aproape de la primele începuturi și pînă în zilele noastre dezvoltarea acestei teorii fizice fundamentale. Unele deosebiri dintre aceste controverse, susținute în primul rînd de creatorii teoriei (M. Planck, A. Einstein, N. Bohr, L. de Broglie, E. Schrödinger, W. Heisenberg, M. Born, P. Jordan și în mai mică măsură P. M. A. Dirac) și de alți mari fizicieni teoreticieni ai secolului nostru, și cele care au opus pe promotorii direcției fenomenaliste și esențialiste în fizică sar în ochi din capul locului. În cel din urmă caz este vorba, cum am văzut, de determinarea orientării strategice a cercetării în lumina unei teorii elaborate a cunoașterii fizice (și a cunoașterii științifice în general), precum și de evaluarea celor mai importante rezultate ale cercetării teoretice, prin raportare la strategia care a fost adoptată. Discuția filosofică în jurul teoriei cuantelor a vizat, dimpotrivă, de la început, doar interpretarea teoriei, determinarea sensului fizic al formalismului ei matematic[1] şi, pe această bază, stabilirea locului pe care îl ocupă această teorie în structura de ansamblu a cunoaşterii fizice, în „tabloul fizic modern al lumii". Deosebirile de interpretare, care s-au dovedit a fi ireconciliabile, de nedepăşit, nu-şi au sursa în teorii epistemologice propriu-zise, în puncte de vedere filosofice pe deplin articulate, ci în idealuri de cunoaştere, în criterii de inteligibilitate şi raţionalitate ştiinţifică în mare măsură latente, implicite. Din acest punct de vedere, vestita controversă dintre Einstein şi Bohr se deosebeşte sensibil de cea care a avut loc la începutul secolului între Mach şi Planck. Aceştia din urmă procedau oarecum sistematic, de la principii la consecinţe, formulînd puncte de vedere divergente asupra direcţiilor în care ar trebui să fie orientată cercetarea teoretică, întemeiate pe concepţii elaborate asupra naturii şi sensului cunoaşterii fizice. În discuţiile lui Einstein cu Bohr şi cu alţi susţinători ai interpretării standard a mecanicii cuantice, în primul rînd cu M. Born, constatăm dimpotrivă că protagoniştii întîmpină dificultăţi în localizarea şi precizarea satisfăcătoare ale temeiurilor dezacordului lor persistent şi sistematic. Faptul însuşi că sursele ultime ale dezacordului sînt de ordin filosofic este doar indicat, semnalat de împrejurarea că încercările perseverente, mereu reînnoite, întreprinse de ambele părţi pentru a restabili consensul, prin invocarea unor argumente teoretice şi experimentale, socotite constrîngătoare pentru toţi cei competenţi, au eşuat de fiecare dată. Pentru a-şi explica această situaţie cu totul neobişnuită protagoniştii au trebuit să admită, în cele din urmă, că punctele lor de vedere se sprijină pe supoziţii adînci, latente dar active cu privire la natura realităţii fizice şi la exigenţe minime, elementare pe care trebuie să le satisfacă orice descriere acceptabilă a realităţii fizice. Ei au admis de asemenea că aceste supoziţii s-au dovedit ireconciliabile, zădărnicind comunicarea şi lipsind argumentele fizice de forţă constrîngătoare pentru cealaltă parte[2]. O recunoaştere oarecum forţată, care nu face nici o plăcere fizicianului teoretician, adînc pătruns de sentimentul valorii şi demnităţii superioare proprii ştiinţei exacte. Desigur, el nu va avea motive să se bucure cînd va constata că unii din colegii săi cei mai respectaţi, ale căror competenţă profesională şi probitate intelectuală i se par a fi deasupra oricărei îndoieli, nu pot să accepte raţionamente care-i apar drept evidente, şi nu va zăbovi, în mod obişnuit, asupra explicării acestei situaţii mai mult decît va considera strict necesar. Nu este deci de mirare că explicitarea şi analiza surselor filosofice ale divergenţelor care au marcat de la început interpretarea mecanicii cuantice au rămas, pînă în zilele noastre, un domeniu promiţător de cercetare pentru cei ce privesc cu un ochi filosofic dezvoltarea gîndirii fizice moderne.

---

[1] Dezacordurile dintre fizicienii teoreticieni au apărut pe terenul acceptării generale a conţinutului tehnic propriu-zis al teoriei. Nici un teoretician competent nu a contestat aparatul matematic propus de Born, Jordan şi Heisenberg, şi respectiv de Schrödinger sau succesul predicţiilor teoriei. Diferenţele de păreri între fizicieni intervin în interpretarea fizică a acestui aparat matematic, de exemplu a funcţiei de undă a lui Schrödinger. Einstein, bunăoară, a acceptat de la început matematica mecanicii cuantice, păstrînd totodată rezerve fundamentale faţă de interpretarea probabilistă a teoriei. El a formulat foarte bine această atitudine duală scriindu-i lui P. Ehrenfest (28 august 1926): „Der Quanten Mechanik stehe ich bewundernd-mistrauisch gegenüber." („Privesc mecanica cuantică cu admiraţie şi cu suspiciune.") (Citat după M. Jammer /1/, pag. 358.) Iar N. Bohr, aprecia, deja în 1927, că dacă „metodele mecanicii cuantice" au atins un înalt grad de perfecţionare şi şi-au dovedit fecunditatea, în privinţa „interpretării fizice a acestor metode" părerile erau împărţite (Vezi N. Bohr /4/, pag. 8.)

---

[2] Referindu-se la divergenţele sale cu Einstein în interpretarea mecanicii cuantice, M. Born nota : „Scrisorile pe care le-aţi citit (este vorba de corespondenţa Born-Einstein — M. F.) dovedesc că doi oameni inteligenţi, care dezbat o problemă concretă, pot să nu se înţeleagă ; fiecare dintre noi era convins că are dreptate. Motivul era că fiecare pornea de la un punct de vedere diferit, care i se părea atît de incontestabil încît nu-l mai înţelegea pe cel al adversarului său". (M. Born /6/, pag. 230.) Iar W. Heisenberg comenta dificultăţile de comunicare între aceşti doi mari fizicieni ai secolului, aşa cum se exprimă ele în corespondenţa lor, în felul următor : „Orice cercetător sau aproape oricare este gata să accepte noi rezultate şi noi cunoştinţe dacă se încadrează în concepţia lui filosofică. Se poate întîmpla însă, pe măsură ce ştiinţa progresează, ca un domeniu de investigaţie să nu fie perfect inteligibil decît dacă cercetătorul produce efortul enorm de a lărgi acest cadru şi de a lărgi însăşi structura gîndirii sale. Se pare că Einstein, în cazul mecanicii cuantice, nu mai era dispus sau capabil să facă acest pas. Scrisorile schimbate de Einstein şi Born, şi comentariile pe care le face Born, la o distanţă importantă de timp, dezvăluie într-o manieră impresionantă în ce măsură munca ştiinţifică, în aparenţă străină, prin conţinutul ei, individului, este de fapt dominată de concepţiile sale filosofice". (W. Heisenbeng, /10/, pag. 11—12.)

Capitolul I

Începuturile teoriei cuantelor; principiul cuantic şi idealizările fizicii clasice

„Teoria cuantică a lui Planck nu era, de fapt, în acea vreme, o teorie, ci doar un temei de îngrijorare.“

W. HEISENBERG (1975)

Teoria cuantelor, care nu trebuie confundată cu mecanica cuantică în sensul strict al termenului, îşi are începuturile în descoperirea cuantei de acţiune de către M. Planck (1900) şi a cunoscut importante dezvoltări îndeosebi prin teoria cuantelor de lumină (A. Einstein), teoria cuantică a structurii atomului şi a spectrelor atomilor (N. Bohr şi A. Sommerfeld), în primele două decenii ale secolului nostru [1]. Dezvoltarea teoriei a ridicat cu acuitate, cel puțin începînd din al doilea deceniu[2], probleme de ordin filosofic. Există indicii numeroase că fizicienii creatori, implicați în desfășurarea evenimentelor, au devenit în mod treptat conștienți, într-o măsură mai mică sau mai mare, de faptul că fizica cuantelor a creat o situație nouă, de mare rezonanță filosofică[3]. Ei au preferat însă să amîne semnalarea și discutarea frontală a acestei situații, în așteptarea unor clarificări pe care sperau că le va aduce oarecum de la sine elaborarea matematicii teoriei și lărgirea bazelor ei experimentale. Ca și în alte cazuri, filosofii de profesie și publicul larg nu au avut nici o bănuială cu privire la implicațiile conceptuale profunde ale unor cercetări și rezultate științifice cu un caracter tehnic pronunțat, atît timp cît specialiștii nu au apreciat că ele cer o discuție de natură filosofică și că ei sînt pregătiți să o susțină. După luările de poziție pe care le-au suscitat descoperirile revoluționare de la începutul secolului cu privire la structura materiei, interesul celor preocupați cu deosebire de răsfrîngerea noilor evoluții din fizica teoretică asupra „tabloului lumii“ era monopolizat, la sfîrșitul deceniului al doilea și începutul deceniului al treilea, de teoria relativității a lui Einstein. M. Jammer, cel mai important istoric contemporan al teoriei cuantelor, subliniază că pînă la mijlocul anilor '20, filosofii naturii și ai științei au acordat destul de puțină atenție teoriei cuantelor. Considerînd lucrurile retrospectiv, din perspectiva actuală, și presupunînd că ar fi putut să urmărească și să înțeleagă „dinăuntru“ sensul evenimentelor, atitudinea lor ar fi trebuit să fie desigur alta. Aşa cum a semnalat cu insistenţă Bohr, încă în primele sale scrieri cu caracter filosofic din perioada anilor 1925—1930, deja prin descoperirea cuantei de acţiune în fizica teoretică a fost introdus un element nou, străin, incompatibil cu exigenţele descrierii fizicii clasice şi, în acest sens, „iraţional". (Vezi, de exemplu, N. Bohr /4/, pag. 8—9.)

---

[1] Scrierea istoriei începuturilor teoriei cuantelor nu poate fi considerată încă drept încheiată. După ce acest capitol a fost redactat, am luat cunoştinţă de cartea lui Th. S. Kuhn consacrată istoriei introducerii ideii de discontinuitate în fizică. Pe baza unei cercetări minuţioase a surselor, cunoscutul istoric ajunge la concluzia că teoria expusă de Planck în memoriul lui din 1900 este încă o teorie clasică, în măsura în care rezonatorii consideraţi absorb şi emit energie în mod continuu, potrivit ecuaţiilor lui Maxwell. Acelaşi punct de vedere clasic — susţine Kuhn — apare şi în *Lecţiile despre radiaţia calorică,* publicate de Planck în 1906. Abia lucrări ale lui Einstein şi Ehrenfest din 1906 ar fi arătat că legea radiaţiei corpului negru nu poate fi derivată fără a introduce restricţii cuantice în ceea ce priveşte absorbţia şi emisia de energie ale rezonatorilor. Acest punct de vedere s-ar fi impus treptat, în primul rînd pe baza demonstraţiei pe care i-a dat-o Lorentz în 1908, şi a fost acceptat de specialiştii în radiaţii, Wien, Jeans şi Planck însuşi, abia în anii 1909—1910. Începînd din anii 1911—1912, ideea discontinuităţii cuantice a fost aplicată la studiul căldurii specifice la temperaturi joase, ceea ce a asigurat o audienţă incomparabil mai mare pentru această idee. (Vezi Th. S. Kuhn /4/). Reconsiderările istorice propuse de Kuhn sînt în discuţie între specialişti. Acceptarea lor ar revoluţiona aşa-numita „istorie timpurie a teoriei cuantelor“.

---

[2] În primii ani ai secolului introducerea cuantei de acțiune de către Planck mai putea fi privită încă drept un „procedeu metodologic adecvat, fără semnificație fizică profundă“. (M. Jammer /1/, pag. 23.) În cartea lui *Teoria electronilor*, publicată în 1909, H. A. Lorentz, „arbitrul“ fizicii teoretice din acea vreme, își exprima încă speranța că efectul descoperit de Planck va putea fi explicat în cadrele fizicii clasice, punct de vedere împărtășit atunci de majoritatea teoreticienilor.

[3] Remarci semnificative în acest sens găsim chiar la un titan al științei clasice, ca H. Poincaré. Într-un articol publicat în 1912, după prima conferință Solvay de la Bruxelles, referindu-se la noile idei privitoare la variația discontinuă a energiei radiației, Poincaré nota : „Abia dacă mai este necesar să remarcăm cît diferă aceste idei de concepțiile tradiționale ; fenomenele fizice vor înceta să asculte de legi ce pot fi exprimate în ecuații diferențiale, și aceasta va fi, fără îndoială, cea mai mare și cea mai radicală revoluție în fizică, care a avut loc de la Newton încoace.“ (Citat după M. Jammer /1/, pag. 170.)

Într-adevăr, reprezentarea curentă, acceptată pînă atunci ca neproblematică, cu privire la condiţiile minime pe care trebuie să le satisfacă orice descriere fizică se întemeia pe supoziţia tacită că acţiunile fizice care fac posibile observarea şi măsurarea caracteristicilor de stare ale unui sistem nu modifică sensibil starea sistemului şi pot fi, prin urmare, neglijate. Această supoziţie era întru totul rezonabilă în măsura în care erau considerate doar sisteme fizice formate dintr-un număr mare de molecule sau atomi, şi nu înceta să fie rezonabilă, chiar în cazul cînd era vorba de caracteristici de stare ale unui atom sau ale unei particule elementare, atît timp cît nu era pus în discuţie aşa-numitul „principiu al continuităţii", principiul „după care toate acţiunile sînt susceptibile de variaţie continuă". (Vezi N. Bohr /4/, pag. 4.) Or, evoluţia inaugurată de descoperirea cuantei de acţiune, acumularea unei multitudini de date experimentale care evidenţiază însemnătatea recunoaşterii caracterului discret, discontinuu al absorbţiei şi emisiei de energie pentru înţelegerea proceselor fizice la nivel atomic contraziceau tocmai acest principiu. Acceptarea indivizibilităţii cuantei de acţiune atrage după sine, cu forţă constrîngătoare, consecinţa că, la nivel atomic, acţiunile fizice utilizate pentru determinarea caracteristicilor de stare ale sistemului cercetat vor determina modificări importante ale unora dintre aceste caracteristici. Posibilitatea de a determina cu o precizie satisfăcătoare şi în mod simultan toate caracteristicile de stare ale sistemelor fizice, adică de a face abstracţie de efectele acţiunilor fizice care fac posibile observaţia sau măsurarea, este supusă, la acest nivel, unei limitări de ordin principial. Situaţia ar putea fi caracterizată, evocînd una din exprimările favorite ale lui Bohr, care obişnuia să spună că intuiţia latentă, dar în mod fundamental constitutivă gîndirii fizice clasice, cu privire la independenţa caracteristicilor de stare ale sistemelor fizice de acţiunile ce intervin în procesul observării şi măsurării lor şi la posibilitatea precizării simultane a acestor caracteristici s-a dovedit a fi o *idealizare*, a cărei utilitate decurge exclusiv din micimea cuantei de acțiune în raport cu sistemele fizice macroscopice. Odată cu pătrunderea cunoașterii noastre la nivelul atomic şi subatomic al structurii substanței materiale s-a descoperit că ceea ce se considerase pînă atunci drept o condiție universală a observațiilor fizice cu valoare obiectivă este doar o idealizare. S-au stabilit, totodată, limitele înăuntrul cărora această idealizare este justificată şi poate fi aplicată cu succes.

Este important de semnalat că prima etapă de dezvoltare a teoriei cuantelor, care cuprinde aproximativ primele două decenii ale secolului nostru, a dus fizica teoretică la o situație de criză. Adoptarea și utilizarea pe scară largă a postulatului caracterului discret al acțiunilor fizice sau al indivizibilității cuantei de acțiune s-au impus ca o necesitate pentru a se putea explica stabilitatea atomului, precum şi caracteristicile spectrelor atomilor diferitelor elemente, a fenomenelor de excitare și de ionizare ale atomilor şi moleculelor, și a altor fapte experimentale. Prin introducerea cuantei de acţiune pentru explicarea trecerii atomului de la o stare staționară la alta au fost încălcate nu numai principiile mecanicii clasice, ci și condiții sau norme generale ale descrierii fizice, cărora li s-a atribuit pînă atunci o valoare absolută. Modelul cuantic al atomului propus de Bohr nu mai descria mişcarea electronilor în spaţiu şi timp, ci permitea doar să se stabilească probabilitatea pe care o are saltul de la o orbită la alta, prin absorbție și emisie discontinuă de energie. Din punctul de vedere al mecanicii și al electrodinamicii clasice, modelul atomic al lui Bohr apărea ca absurd şi iraţional. Şi dacă opinia științifică dominantă a ezitat să califice acest model ca scandalos și inacceptabil, aceasta s-a datorat, poate, doar faptului că l-a considerat numai ca o etapă tranzitorie într-o evoluţie care se va încheia printr-o revenire la o explicație conformă ideilor și idealurilor clasice. Bohr, care nu a fost de la început de această părere, era încă, în acea epocă, complet izolat. Nu poate să nu rețină atenţia faptul că fizicianul danez, cunoscut de altminteri pentru prudența și rezerva lui extremă, nu a ezitat să formuleze concluzia radicală a imposibilităţii de a da socoteală de datele experimentale privitoare la structura și stabilitatea atomilor pe baza ideilor și reprezentărilor fizicii clasice încă într-o conferință ținută în 1925, adică într-o perioadă cînd mecanica cuantică nu era încă constituită ca o teoria consistentă a fizicii matematice. „Se poate conchide din aceste rezultate, spunea el atunci, că problema generală a teoriei cuantelor nu constă în a modifica mecanica și electrodinamica, fără a ne îndepărta de conceptele fizice obișnuite ; ne găsim mai degrabă în fața unei insuficiențe profunde a conceptelor spațio-temporale cu ajutorul cărora am încercat pînă acum să descriem fenomenele naturale.“ (N. Bohr /1/, pag. 32.)

O evocare cît de sumară a situației problematice care se crease prin descoperirea cuantei de acțiune și prin aplicarea pe scară tot mai largă a principiilor cuantice la explicarea fenomenelor atomice se impune pentru a înțelege mai bine criza profundă care a fost generată de aceste evoluții și caracterul șocant al soluției propuse de Bohr și elevii săi pentru depășirea crizei. Oricît de paradoxal ne-ar apărea acest fapt astăzi, nu trebuie să uităm că Planck, care a descoperit cuanta de acțiune, și unii fizicieni creatori care au aplicat cu succes principiul cuantic la explicarea proceselor naturii, în perioada care a premers constituirii mecanicii cuantice, erau profund atașați idealurilor fizicii clasice. Printre exigențele descrierii naturii considerate ca ceva de la sine înțeles, și de aceea rareori formulate în mod explicit, un loc central îl ocupă, fără îndoială, principiul continuității proceselor naturale și principiul clasic al determinismului, cerința derivării, prin legi fizice, a localizării și caracteristicilor dinamice ale unui sistem fizic din localizarea și caracteristicile lui dinamice într-un moment anterior, cît de apropiat, al timpului. Or, deja dezvoltarea numită „timpurie“ a teoriei cuantelor[4] sau „vechea teorie cuantică“ a dus la încălcarea în fapt a acestor două principii. Spun „în fapt“, pentru că unele din personalitățile științifice care au adus o contribuție hotărîtoare la această dezvoltare, nu amintesc aici decît pe Planck și pe Einstein[5], nu au devenit imediat conștiente de aceste consecinţe cu bătaie lungă ale descoperirilor lor. Dacă ţinem seama cît de adînc erau implantate criteriile clasice ale inteligibilităţii în structura gîndirii lor, împrejurarea ar trebui considerată ca norocoasă, sau, în termenii viziunii istoriste hegeliene, ca o expresie a „vicleniei raţiunii". Considerînd rezerva şi lipsa de entuziasm, pentru a nu spune repulsia, cu care au întîmpinat mai tîrziu sugestia că teoria cuantică ne obligă să întreprindem o revizuire profundă a principiilor cunoaşterii naturii, se poate spune că Planck şi Einstein au fost nişte „revoluţionari fără voie". Presupunînd că ar fi ştiut de la început încotro vor evolua lucrurile, este greu de presupus că ar mai fi avut motivaţia necesară pentru a produce contribuţiile lor epocale la dezvoltarea teoriei cuantelor.

---

[4] Termenul consacrat în germană este *Frühgeschichte der Quantentheorie.*

[5] Istoricii contemporani ai teoriei cuantelor acordă un loc cu totul deosebit contribuției lui Einstein. Se apreciază că abia teoria cuantelor de lumină, propusă de Einstein în 1905 și dezvoltată în anii următori, a scos ideea planckiană a cuantificării

În cazul lui Planck, a cărui descoperire a declanşat întreaga evoluţie ulterioară, putem bănui că el s-ar fi hotărît şi mai greu să introducă o nouă constantă fizică pentru a formula legea radiaţiei corpului negru dacă ar fi fost conştient că prin aceasta contrazice principiul continuităţii. Relatările sale ulterioare cu privire la scrupulele cu care a avut de luptat înainte de a face acest pas şi cuvintele prin care şi-a caracterizat decizia finală, „un act al disperării", au fost adesea interpretate tocmai în acest sens. Aceste mărturisiri pot primi însă o explicaţie plauzibilă şi dacă renunţăm la presupunerea, altminteri comodă, că Planck şi-ar fi dat seama din capul locului de incompatibilitatea dintre principiul cuantic şi o supoziţie atît de profundă a gîndirii fizice clasice, cum este principiul continuităţii[6]. Se pare că Planck a de-

---

energiei din cadrul îngust al cercetării radiaţiei calorice, deschizînd calea aplicării ei în alte cîmpuri ale gîndirii fizice şi favorizînd transformarea ei într-un principiu fizic cu valoare generală. „De la Einstein au plecat impulsuri esenţiale, pe care nu le-au putut da gînditori conservatori ca Lord Rayleigh, James Jeans şi Hendrik Anton Lorentz. Abia acum 'problema radiaţiei' a devenit 'problema cuantică', adică majoritatea fizicienilor au devenit conştienţi că cuanta de acţiune a lui Planck are importanţă nu numai pentru fenomenele radiaţiei." (A. Hermann /1/, pag. 63.) Şi mai departe: „Planck a derivat ipoteza din studiul unui singur fenomen, într-un demers de gîndire foarte laborios, iar Einstein a arătat, acum, cît de nemijlocit este responsabilă legea cuantică pentru fenomene fizice." (pag. 74.)

[6] În remarcabila sa lucrare asupra începuturilor teoriei cuantelor, A. Hermann afirmă că discuţia asupra principiului continuităţii a început abia prin anii 1908—1909. „Interacţiunea electron-atom ne constrînge, după Planck, să renunţăm la prin-

venit conştient de unele din consecinţele radicale care decurg din formula lui din 1900 abia mai tîrziu, nu înainte de a încerca mulţi ani la rînd să integreze cuanta de acţiune în teoria şi gîndirea fizică clasice. Deşi a recunoscut, în cele din urmă, incompatibilitatea teoriei cuantelor cu principiul continuităţii, Planck a rămas, ca şi Lorentz, pe o poziţie conservatoare, astfel încît istoricul contemporan poate aprecia că „şi-au închis ei înşişi calea spre noi cunoştinţe, care, aşa cum se ştie astăzi, sînt în contradicţie cu anumite categorii de gîndire ale secolului al XIX-lea". (Vezi A. Hermann /1/, pag. 58.) Planck nu a acceptat, pînă la sfîrşitul lungii sale vieţi, acea restructurare fundamentală a bazelor gîndirii fizice propusă, începînd din deceniul al treilea, de către eminenţi fizicieni care au pretins întotdeauna că merg înainte pe drumul deschis de Planck prin descoperirea cuantei de acţiune şi că încearcă să degajeze concluziile filosofice implicate într-o suită de evenimente ştiinţifice revoluţionare, inaugurate prin această descoperire[7].

Cît despre Einstein, el nu a admis niciodată că dezvoltarea fizicii atomice, la care a contribuit mai ales prin ipoteza cuantelor de lumină, ar putea duce la re-

---

cipiul continuităţii evenimentelor naturii. Nu la cumpăna celor două secole, cum vrea legenda, ci în 1908 i-a devenit lui Planck clară această consecinţă a legii sale asupra radiaţiei corpului negru." (A. Hermann /1/, pag. 55.) Cît priveşte clarificarea completă a semnificaţiei fizice a constantei lui Planck, aceasta se confundă cu istoria teoriei cuantelor şi a cerut aproape trei decenii. (Vezi A. Hermann /1/, pag. 30.) A. Hermann oferă o altă explicaţie pentru relatarea ulterioară a lui Planck, că a putut formula cunoscuta sa derivare a legii radiaţiei corpului negru numai cu preţul „sacrificării" unora din convingerile sale fizice fundamentale. „Sacrificiul pe care Planck l-a făcut în mod conştient a fost renunţarea la concepţia pur axiomatic-termodinamică a celui de al doilea principiu al teoriei căldurii, care i-a fost atît de apropiată, şi acceptarea interpretării atomistic probabiliste, pe care a respins-o pînă atunci cu energie. Încă din 1896 el a avut, prin asistentul său Ernst Zermello, o polemică în această privinţă cu Boltzmann." (A. Hermann /1/, pag. 12.) (Pentru argumentarea acestei teze istorice, vezi şi pag. 23—25.)

[7] Semnificativă este în această privinţă mărturia lui Heisenberg: „Ştiţi poate că Planck a fost de la început un spirit pronunţat conservator, care nu a avut niciodată dorinţa de a schimba în mod serios fizica veche. Dar el şi-a propus să rezolve o problemă determinată, strict delimitată, el voia să înţeleagă spectrul radiaţiei calorice. A încercat să facă aceasta păstrînd toate legile fizice existente, şi i-au trebuit mulţi ani

vizuirea principiilor fundamentale ale cunoaşterii naturii. Einstein a început să-şi manifeste insatisfacţia faţă de teoria cuantelor de îndată ce şi-a dat seama că unii dintre cei mai importanţi fizicieni din generaţia tînără, în primul rînd cei reuniţi în jurul lui Bohr, înţeleg în acest fel semnificaţia revoluţionară a teoriei. Nici un moment Einstein nu a urmărit însă din afară desfăşurarea evenimentelor, nu şi-a exprimat pur şi simplu insatisfacţia faţă de modul cum dezvoltă alţi cercetători fizica atomică, ci s-a străduit necontenit, prin eforturi personale eroice, să pună în acord principiile teoriei cuantelor cu idealul său ştiinţific. Recunoscînd succesul modelului atomic al lui Bohr, atît în ceea ce priveşte capacitatea acestuia de a corela şi unifica o mare varietate de fapte experimentale cunoscute, cît şi în ceea ce priveşte derivarea unor predicţii despre fapte noi, creatorul teoriei relativităţii aprecia, în acelaşi timp, că principiile explicative care stau la baza acestui model nu satisfac exigenţe elementare, minime ale unei explicaţii fizice acceptabile. Această insuficienţă majoră pentru fizicianul-filosof, ale cărui interese se concentrează asupra principiilor cunoaşterii naturii, trebuia să fie degrabă înlăturată. Iată de ce Einstein a întreprins, încă de la sfîrşitul deceniului al doilea şi începutul deceniului al treilea, încercări de a deduce legile probabilistice ale teoriei cuantice a atomului din ecuaţiile unei teorii generale a cîmpului, care urma să unifice teoria fenomenelor electromagnetice şi gravitaţia. Caracterizînd acest proiect, care ţintea „să împace cuantele şi cîmpul lui Maxwell“, cu referire la una din variantele sale particulare, cea la care lucra în acel moment, Einstein îi scria la 5 iulie 1924, din Berlin, prietenului său din tinereţe M. Besso, într-o manieră oarecum eliptică, care survine adesea în comunicarea dintre oameni cu aceeaşi formaţie, ce sînt la curent cu actualitatea ştiinţifică: „Ideea cu care mă lupt priveşte înţelegerea realităţii cuantelor şi se numeşte determinarea legilor (teoriei

---

ca să-şi dea seama că acest lucru nu este posibil. Abia atunci a propus o ipoteză care nu intră în cadrele fizicii de pînă atunci, şi chiar după aceea a încercat să astupe spărtura pe care a făcut-o în zidurile vechii fizici prin ipoteze suplimentare. Aceasta s-a dovedit a fi imposibil; urmărirea mai departe a ipotezei lui Planck a cerut reconstrucţia radicală a întregii fizici.“ (W. Heisenberg /9/, pag. 203—204.)

cuantelor — M. F.) printr-un număr de ecuaţii diferenţiale superioare numărului de variabile ale cîmpului. Vom putea înţelege atunci lipsa de arbitrar în condiţiile iniţiale (determinarea precisă, nestatistică a condiţiilor iniţiale — M. F.) fără a părăsi teoria cîmpului. Această cale poate, evident, să fie cu totul falsă, dar trebuie încercată ; ea este în orice caz logic posibilă. Ecuaţia de mişcare a punctelor materiale (a electronilor) este în întregime abandonată ; comportarea mecanică a acestora va fi determinată în acelaşi timp de legile cîmpului. Îţi voi trimite lucrarea provizorie consacrată acestei probleme de îndată ce va fi tipărită. Partea matematică este foarte dificilă, raportul cu experienţa devine, din nefericire, tot mai indirect. Dar este totuşi o *posibilitate* logică de a da socoteala de fapte *(de satisfaire à la realité)* fără *sacrificium intellectus.*" (A. Eintestin /12/, pag. 117.)

Acest pasaj spune, cred, multe. Einstein indică fără înconjur motivaţia esenţial filosofică a proiectului său ştiinţific : a da socoteală de realitatea cuantelor, de legile confirmate experimental, fără *sacrificium intellectus,* adică fără a renunţa la anumite condiţii socotite absolute, inalienabile pentru orice descriere şi explicaţie teoretică satisfăcătoare. Acest proiect trebuie să reuşească oricîte eforturi ar cere asigurarea succesului lui. Einstein îl concepe drept singura cale de a depăşi situaţia, după el anormală, care se crease prin evoluţiile recente în teoria cuantelor, de a reda teoriei fizice o formă inteligibilă. Cînd este vorba de o asemenea sarcină eşecurile personale, chiar repetate, nu trebuie să ne descurajeze. Din moment ce nu avem voie să admitem că ţelul fixat nu ar putea fi atins, nereuşitele, oricît ar fi ele de numeroase, nu pot să exprime decît limite personale ale teoreticianului. În acelaşi an (24 aprilie 1924), Einstein îi scria lui M. Born, cu referire la expresia puţin fericită „alegere liberă", folosită pe atunci de Bohr şi de alţi fizicieni pentru a indica determinarea ireductibil probabilistă a salturilor cuantice : „Ideea că un electron alege *în mod liber* momentul şi direcţia în care vrea să salte îmi este insuportabilă. Dacă ar fi aşa, aş prefera să fiu pantofar sau funcţionar într-un tripou mai degrabă decît fizician. Încercările mele de a da teoriei cuantelor o formă inteligibilă au eşuat tot timpul, pentru a spune adevărul, dar nu renunţ la orice speranţă. Şi dacă nimic nu reuşeşte, pot să-mi spun oricînd, pentru a mă consola că eșecul ține numai de mine." (M. Born /6/, pag. 98.)

Această atitudine era împărtășită și de unii fizicieni din generația tînără, care acordau o valoare absolută idealului explicativ al fizicii clasice. Este cazul lui L. de Broglie, care, este adevărat mult mai tîrziu[8], și-a exprimat public poziția, în termeni deosebit de sugestivi. El vorbea de două interpretări diametral opuse ce puteau fi date, în jurul anului 1920, conceptului de probabilitate a tranziției atomului de la o stare staționară la alta. Prima interpretare se întemeia pe concepția clasică, laplaceană, asupra probabilității — probabilitatea exprimă ignoranța noastră asupra unei cauzalități ascunse. Potrivit acestei interpretări, atît stabilitatea deplină a stărilor staționare, cît și caracterul strict discontinuu, brusc al tranzițiilor de la o stare la alta, erau considerate drept aparențe. Se presupunea că tranziția cuantică este un proces deosebit de rapid, ale cărui faze vor putea fi descrise pînă la urmă, un proces pregătit și determinat de anumite perturbații ascunse. A doua interpretare, propusă și apărată de Bohr, susținea, dimpotrivă, că stările staționare sînt pe deplin stabile în timp ce tranzițiile cuantice sînt procese instantanee, care scapă determinismului strict și deci unei descrieri în spațiu și timp. Probabilitățile de tranziție primesc în această interpretare o natură obiectivă și un caracter ireductibil, ele nu mai pot fi înțelese drept expresia ignoranței noastre asupra unei cauzalități ascunse. Comentariul lui de Broglie asupra acestei a doua interpretări este semnificativ pentru reacția unei minți de factură clasică : „Desigur, se poate spune că acest mod de a vedea a fost sugerat în mod natural de noțiunile de bază ale teoriei cuantelor și că el deschide orizonturi noi, demne de a interesa în mare măsură pe filosofi și pe epistemologi. Dar este sigur că acest mod riscă să conducă spre căi hazardate. Mutînd linia de demarcaţie între fizică şi metafizică, acest mod de a vedea a deplasat-o într-un domeniu care pare a mai aparţine încă fizicii ; el reprezintă un fel de renunţare la scopul pe care cercetarea ştiinţifică şi l-a propus întotdeauna, cu un succes constant, anume de a obţine explicaţii şi de a înţelege ; el comportă pericolul foarte grav de a se reveni la tipul de explicaţii pur verbale care au împiedicat mult timp progresul cunoştinţelor umane.“ (L. de Broglie /5/, pag. 146.)

---

[8] Un fizician teoretician la începutul carierei sale, chiar unul aureolat prin descoperirea caracterului ondulatoriu al substanței, nu putea, desigur, îndrăzni, cum a îndrăznit Einstein, să-și exprime doar pe temeiuri generale, filosofice, scepticismul față de o interpretare susținută de reputați fizicieni atomiști. În mod firesc, de Broglie a așteptat ca dezvoltarea ulterioară a cercetărilor să ofere o fundamentare matematică sau experimentală acestei critici. Einstein însuși, în primii ani ai activității sale de cercetător, nu și-ar fi permis, probabil, asemenea luări de poziții față de idei susținute de autoritățile fizicii din acea perioadă.

Capitolul II

Emergenţa interpretării standard a mecanicii cuantice. Semnificaţia filosofică a principiului complementarităţii

> „L-am întrebat apoi pe Bohr : 'Dacă structura internă a atomului este atît de puţin accesibilă unei descrieri intuitive cum spuneţi, dacă nu dispunem de fapt de o limbă în care să putem vorbi despre această structură, vom înțelege oare vreodată atomii ? ' Bohr a șovăit o clipă și a zis apoi : 'Totuşi. Dar cu această ocazie vom învăța în același timp ce înseamnă cuvîntul «a înțelege»'."
>
> *W. HEISENBERG* (1969)

Starea teoriei cuantice a atomului după 1920 poate fi considerată ca tipică pentru ceea ce numim o situaţie de criză în ştiinţa teoretică. Cercetătorii erau puşi de cele mai multe ori în situaţia de a adapta teoria noilor date experimentale prin introducerea unor supoziţii adecvate acestui scop. Cu alte cuvinte, teoria era devansată sistematic de fapte, în loc să conducă spre noi fapte, aşa cum îşi doreşte întotdeauna fizicianul teoretician. Situaţia teoriei cuantelor în acel moment era descrisă amuzant într-o scrisoare a lui W. Pauli către Bohr (21 februarie 1924) : „Fizicienii atomişti din Germania se împart acum în două grupuri. Unii fac calcule privitoare la o anumită problemă mai întîi cu valori fracţionare ale numerelor cuantice şi, dacă rezultatele nu sînt de acord cu experienţa, fac apoi calcule cu numere cuantice întregi. Ceilalţi calculează la început cu numere întregi şi, dacă nu merge, atunci calculează cu numere fracţionare. Ambele grupuri de fizicieni atomişti au însă în comun însuşirea că din teoriile lor nu se poate deduce *a priori* nici un fel de indicaţie privitor la numerele cuantice şi atomii pentru care trebuie să se calculeze cu valori fracţionare şi respectiv cu valori întregi. Aceasta ei o pot stabili numai *a posteriori* prin confruntare cu experienţa." (A. Hermann, K. von Meyenn,

V. F. Weisskopf, pag. 147—148.) Situația nu era satisfăcătoare nici din punct de vedere logic, în măsura în care fizica atomică continua să utilizeze noțiunile și legile mecanicii clasice, impunîndu-le însă anumite condiții sau restricții cuantice, de natură să dea socoteală de stabilitatea atomului, care se dovedise a nu putea fi explicată pe baza conceptelor și legilor mecanicii clasice. Heisenberg zugrăvește un tablou viu al acestei situații, descriind modul cum se lucra în seminarul lui Sommerfeld asupra teoriei cuantice a atomului, în primii ani ai studenției sale (1921—1922). (Vezi W. Heisenberg /9/, pag. 54—58.) Succesul empiric al calculelor teoretice era asigurat prin artificii lipsite de orice justificare logică, rațională. Traiectoriile electronilor în interiorul atomului erau calculate după legile mecanicii newtoniene, iar apoi se recurgea la condițiile cuantice pentru a conferi acestor traiectorii o stabilitate pe care nu ar fi trebuit s-o aibă potrivit acestor legi [1]. Necesitatea unor idei noi, pentru a depăși dificultățile și contradicțiile care grevau asupra teoriei cuantice a atomului, se impunea cu tot mai multă claritate.

Anii 1925—1927 reprezintă o perioadă poate unică în istoria fizicii prin profunzimea și însemnătatea schimbărilor care au avut loc într-un interval atît de scurt în teoria structurii atomice a materiei. În acești ani au fost elaborate noi metode de reprezentare matematică a datelor experimentale despre structura atomului, mecanica matricială a lui W. Heisenberg, M. Born și P. Jordan și mecanica ondulatorie a lui E. Schrödinger, cunoscute sub termenii generici de *noua teorie a cuantelor* și apoi de *mecanică cuantică,* precum și elementele de bază ale unor interpretări nu numai distincte, ci și incompatibile ale mecanicii cuantice, cum sînt cele datorate lui de Broglie și Schrödinger, pe de o parte, Heisenberg, Born și Bohr, pe de altă parte.

---

[1] Bohr mai încerca încă să apere un asemenea mod de a lucra, la sfîrșitul anului 1924, remarcînd, într-o scrisoare adresată lui Pauli, că este convins în continuare că „escrocheria *(der Schwindel)* amestecării teoriei clasice cu cea cuantică se va arăta încă fertilă, în diferite feluri, în descoperirea secretelor naturii“. (Vezi A. Hermann, K. von Meyenn, V. F. Weisskopf, pag. 185.) Dar insuccesul multor predicții indica totuși clar limitele rezultatelor ce puteau fi obținute în acest fel. Heisenberg, pe de altă parte, nu-și făcea asemenea iluzii, orientîndu-se în evaluarea situației după un principiu metodologic mai radical, pe care îl formula astfel : „O teorie poate să fie falsă deși produce ceva corect, dar nu poate fi niciodată corectă dacă produce ceva fals.“ Pășind pe o cale nouă, el îi scria lui Pauli, la 21 iunie 1925 : „Mă mir doar că vă miră 'nefuncționarea mecanicii'. Dacă ceva de felul mecanicii (este vorba, evident, de mecanica newtoniană — M.F.) ar fi valabil, nu am putea înțelege niciodată că există atomi ; există însă o altă mecanică, o 'mecanică cuantică', și trebuie să ne mirăm doar că atomul de hidrogen este, întîmplător, în concordanță, în ceea ce privește constanta de energie, cu ceva clasic.“ (A. Hermann, K. von Meyenn și V. F. Weisskopf, pag. 219.)

Sub impresia eșecului încercărilor sale, din primăvara anului 1925, de a stabili formulele corecte pentru intensitatea liniilor spectrului hidrogenului prin procedura aplicată curent de grupul de la Copenhaga de a „ghici" relațiile matematice corecte, pornind de la asemănările lor cu formulele teoriei clasice (vezi W. Heisenberg /9/, pag. 86—87), Heisenberg și-a propus, plecînd de la o sugestie a lui Pauli [2], elaborarea unui formalism matematic care să permită derivarea mărimilor observabile, adică a mărimilor care exprimă frecvența oscilațiilor și amplitudinile electronilor, fără a mai lua în considerare presupusele traiectorii ale electronilor în interiorul atomului. Rezultatul final al acestor strădanii a fost o teorie matematică a proceselor atomice, așa-numita mecanică matricială [3].

Teoria a fost dezvoltată de Heisenberg în colaborare cu Born şi Jordan, şi în mod independent, de către P. A. M. Dirac, în anii 1925—1926. În primele luni ale anului 1926, Schrödinger, stimulat de ipoteza lui de Broglie care propunea extinderea dualismului corpuscul-undă, stabilit experimental pentru lumină prin efectul Compton (1923), şi asupra substanţei, a elaborat o nouă teorie a atomului, mecanica ondulatorie, care s-a dovedit a fi echivalentă, din punct de vedere matematic, cu mecanica matricială. Fizicianul austriac socotea ecuaţia sa de undă drept o descriere matematică a propagării undelor materiale *(Materiewellen)*, în spaţiul cu trei dimensiuni. În cadrul interpretării lui Schrödinger, atomul era conceput ca un sistem ondulatoriu, iar stările staţionare ale învelişului atomic erau reprezentate prin frecvenţe ale undelor staţionare. Undele materiale erau concepute drept realităţi intuitive, de acelaşi tip cu undele electromagnetice sau cu undele sonore. Schrödinger credea că toate caracteristicile proceselor atomice stabilite experimental vor putea fi explicate pe baza descrierii matematice date de mecanica ondulatorie undelor materiale, eliminîndu-se astfel discontinuităţile şi salturile cuantice care trezeau un sentiment de profundă insatisfacţie fizicienilor de formaţie clasică. Schrödinger contesta, bunăoară, că odată cu trecerea de la o stare staţionară la alta, atomul îşi schimbă brusc starea energetică, emiţînd energie sub forma unei cuante de lumină. El explica emisia de lumină constatată experimental ca rezultat al interferenţei a două unde materiale. Deşi nu dispuneau încă de o interpretare alternativă a formalismului matematic al mecanicii cuantice, Bohr şi tinerii fizicieni grupaţi în jurul lui, în primul rînd Heisenberg şi Pauli, precum şi grupul de la Göttingen al lui M. Born, au reacţionat de la început negativ faţă de

---

[2] Iată cum formula Pauli, în scrisoarea sa către Bohr din 12 decembrie 1924, această sugestie : „Formula relativistă a dubleților *(die relativistische Dublettformel)* arată, mi se pare, în mod neîndoios, că nu numai conceptul dinamic de forță, ci și conceptul cinematic al mișcării, propriu teoriei clasice, va trebui să sufere modificări profunde. (De aceea am și ocolit, în general, în lucrarea mea, expresia „traiectorie"). Fiindcă și acest concept al mișcării stă la baza principiului corespondenței, eforturile de clarificare ale teoreticienilor trebuie să fie concentrate, înainte de toate, asupra lui. Cred că valorile energiei și impulsului stărilor staționare sînt ceva mult mai real decît 'traiectoriile'. Țelul (încă neatins) trebuie să fie deducerea acestora și a tuturor celorlalte însușiri fizice reale, observabile ale stărilor staționare, din numere cuantice (întregi) și legi cuantice." (A. Hermann, K. von Meyenn, V. F. Weisskopf, pag. 188—189.)

[3] O asemenea prezentare este susceptibilă de o nuanțare semnificativă din punct de vedere filosofic în lumina unor cercetări istorice recente. S-a arătat că Heisenberg a fost condus în elaborarea efectivă a formalismului său matematic de un model oscilator, care se plasa undeva la mijloc între modelele descriptive mai vechi și punctul de vedere susținut în acel moment de Bohr și Pauli, că este imposibil să se dea o descriere spațio-temporală a mișcărilor electronilor în interiorul atomului. Odată ce a elaborat formalismul pe această cale, Heisenberg i-a dat apoi o expunere în care era suprimată orice relație cu mo-

---

delul oscilator. Textul articolului său din 1925 ascunde deci mai mult decît dezvăluie procesul real al descoperirii mecanicii cuantice. (Vezi E. MacKinnon.) Ca şi de Broglie şi Schrödinger dealtfel, Heisenberg ar fi ajuns astfel la formulări matematice importante pe baza unor modele care nu au putut să fie reţinute, în cele din urmă, ca descrieri ale structurilor şi proceselor din atom. „Este mai degrabă o ironie că Heisenberg, a cărui descoperire epocală s-a datorat unei utilizări abile a modelelor aplicate la procese virtuale, la procese ce nu pot fi observate în principiu, a ajuns să fie socotit simbolul pentru succesul unei metode ştiinţifice care respinge raţionamentele bazate pe modele şi se sprijină exclusiv pe cantităţi observabile.“ *(Op. cit.,* pag. 264.)

această interpretare, care repunea în drepturi exigențele tradiționale ale unei descrieri intuitive în spațiu și timp a tuturor proceselor fizice, cu prețul negării existenței reale a oricărei discontinuități în lumea atomică. Bohr și elevii lui adoptau și utilizau noile metode matematice propuse de Schrödinger, pe care le apreciau pentru claritatea și simplitatea lor superioare, dar respingeau cu hotărîre interpretarea lui Schrödinger, considerînd că în cadrul ei nu mai poate fi dată o explicație satisfăcătoare unei mari diversități de fenomene cuantice stabilite experimental[4].

Discuțiile și reacțiile pasionate pe care le-a generat interpretarea lui Schrödinger, așa cum se reflectă ele îndeosebi în corespondența și amintirile protagoniștilor, ilustrează foarte bine condiția confruntărilor dintre cercetători care pornesc de la supoziții filosofice ireconciliabile. În vara anului 1926, Schrödinger își prezintă punctul de vedere în seminarul lui Sommerfeld de la München, în prezența lui Heisenberg. În intervenția sa, acesta din urmă observă că interpretarea lui Schrödinger este inacceptabilă fiindcă nu permite nici măcar explicarea legii radiației a lui Planck. Intervenția lui Heisenberg a provocat însă o ripostă extrem de tăioasă din partea lui Wilhelm Wien, șeful Institutului de fizică teoretică al Universității din München[5], care reflecta foarte bine speranțele pe care le legau, în acel moment, fizicienii cu convingeri conservatoare de interpretarea lui Schrödinger[6]. Mecanica ondulatorie, susținea Wien, ar fi pus capăt iluziilor despre realitatea fizică a cuantelor şi ar fi redat fizicii inteligibilitatea ameninţată în ultimul timp de partizanii salturilor cuantice. (Pentru o relatare mai amănunţită, vezi W. Heisenberg /9/, pag. 104—105.) Era evident că Schrödinger şi susţinătorii interpretării sale nu ezitau să sacrifice realitatea fizică a cuantelor cînd era vorba să apere standardele clasice ale inteligibilităţii descrierii fizice, ceea ce nu putea să nu provoace îngrijorarea grupului lui Bohr. În toamna anului 1926, Schrödinger este invitat pentru discuţii la Copenhaga. Confruntarea care a avut loc cu această ocazie între Schrödinger şi Bohr, asistat de Heisenberg, aşa cum a fost evocată de acesta din urmă (vezi W. Heisenberg /9/, pag. 106—108), a scos în evidenţă încă mai bine decît discuţiile de la München profunzimea şi caracterul ireconciliabil ale angajamentelor filosofice ale participanţilor. Schrödinger susţinea că teoria cuantelor este inacceptabilă fiindcă se întemeiază pe presupoziţii neinteligibile, în ultimă instanţă absurde. Se afirmă, de exemplu, că în stările staţionare ale atomilor electronii se rotesc pe orbite determinate, fără a radia energie, deşi ei ar trebui să o facă potrivit teoriei electromagnetice a lui Maxwell. Pe de altă parte, salturile electronilor de pe o orbită pe alta nu sînt explicate de către legile fizice cunoscute. Nu există deci o descriere raţională a mişcării electronilor nici pentru stările staţionare, nici pentru trecerea de la o stare staţionară la alta. Teoria cuantelor este saturată de contradicţii şi de întrebări care nu pot primi un răspuns inteligibil ; ea ar fi adus fizica teoretică într-o stare de totală confuzie. Mecanica ondulatorie ar oferi o soluţie

---

[4] „Pe cît este de atrăgător Schrödinger ca om, îi scria Heisenberg lui Pauli în iulie 1926, pe atît de ciudată găsesc că este fizica lui ; cînd o auzi ți se pare că ești cu douăzeci și șase de ani mai tînăr. Schrödinger aruncă peste bord toate fenomenele cuantice, adică efectul fotoelectric. coliziunile lui Frank *(Franksche Stösse),* efectul Stern-Gerlach ; procedînd astfel nu mai este greu să formulezi o teorie. Dar ea nu este în concordanță cu experiența." (A. Hermann, K. von Meyenn, V. F. Weisskopf, pag. 337—338.) Born remarca și el în conferința pe care a ținut-o cu ocazia primirii Premiului Nobel, în 1954, că experimentele lui J. Frank, al cărui institut de fizică experimentală era adăpostit în aceeași clădire cu propriul său institut de fizică teoretică, asupra coliziunii electronilor constituiau dovezi de necontestat ale naturii lor corpusculare.

[5] Mai tîrziu, Heisenberg s-a exprimat spunînd că Wien „l-a dat aproape afară din sala de curs". (Vezi A. Hermann, K. von Meyenn, V. F. Weisskopf, pag. 336.)

[6] Wien credea că Schrödinger va rezolva problemele fizicii atomice într-un mod „îmbucurător", adică pe baza principiilor fizicii clasice, eliberînd fizica de asemenea „monștri" cum sînt

---

modelul atomic al lui Bohr şi Sommerfeld şi mecanica cuantică în sensul lui Heisenberg şi Born. Fără îndoială că şi căldura cu care au întîmpinat doi titani ai fizicii teoretice, Planck şi Einstein, scrierile lui Schrödinger, trebuie să fie explicată, în primul rînd, prin modul cum înţelegeau ei semnificaţia lor filosofică fundamentală. Planck era entuziasmat şi califica contribuţiile lui Schrödinger drept epocale, iar acesta din urmă, într-o scrisoare adresată primului (4 iulie 1927), îşi exprima părerea că efortul lui Planck de a limita şi elimina discontinuitatea din descrierea fizică trebuie să fie reluat, în acel moment, împotriva interpretării „comode, dar nesatisfăcătoare" a ecuaţiei de undă, ca undă de probabilitate, formulată de Born. (Vezi E. Schrödinger /6/, pag. 17.) Einstein, la rîndul său, aprecia că lucrările lui Schrödinger „probează genialitate autentică", ceea ce el nu a spus niciodată despre lucrările lui Heisenberg sau ale bunului său prieten Born.

radicală pentru depășirea acestei situații. Dacă admitem că nu există particulele (electronii) ci numai unde materiale, contradicțiile și absurditățile din teoria atomică dispar ca prin minune. Este nevoie, desigur, de timp pentru a explica pe această bază toate faptele ce constituie baza experimentală a fizicii atomice, dar nu există temeiuri pentru a pune la îndoială posibilitatea unei asemenea explicații. Bohr răspundea că argumentele lui Schrödinger stau în picioare numai atît timp cît nu punem la îndoială valabilitatea universală a acelor concepte și reprezentări intuitive care descriu evenimentele vieții cotidiene și experimentele fizicii clasice. Este totuși firesc ca ele să nu funcționeze pentru descrierea unui domeniu atît de depărtat de cel al experienței curente, cum sînt procesele atomice. Nu intuitivitatea, familiaritatea, ci capacitatea de a explica faptele experimentale trebuie să fie criteriul fundamental în evaluarea conceptelor și ideilor fizice. Realitatea discontinuităților cuantice este probată într-un mod incontestabil de experimente fundamentale ca scintilațiile pe un ecran sau urmele electronilor în camera lui Wilson. Teoria fizică trebuie să explice aceste fenomene. Interpretarea lui Schrödinger încearcă să abată cercetarea teoretică de la această sarcină, contestînd pur și simplu realitatea fenomenelor cuantice.

Reiese clar că Schrödinger și alți fizicieni teoreticieni, care au salutat cu entuziasm interpretarea pe care a dat-o el mecanicii ondulatorii, inclusiv Planck și Einstein, acordau o valoare absolută idealului clasic al descrierii fizice și nu puteau accepta, din acest motiv, realitatea fizică a discontinuităților cuantice[7]. Chiar cu cea mai mare bunăvoință și dorință de a veni în întîmpinarea interlocutorilor din cealaltă tabără, ei nu puteau înțelege, de fapt, punctul de vedere al acestora. Într-o scrisoare către înflăcăratul său susținător Wien (21 octombrie 1926), Schrödinger își rezuma astfel impresiile pe care i le-au lăsat convorbirile cu Bohr : „Atitudinea lui Bohr față de problema atomică ... este într-adevăr stranie. El este pe deplin convins că o înțelegere, în sensul obișnuit al cuvîntului, este imposibilă. De aceea, discuția este împinsă aproape întotdeauna spre probleme filosofice și îndată nu mai știi dacă adopți într-adevăr punctul de vedere pe care-l combate și dacă trebuie să combați punctul de vedere pe care-l adoptă el.“ (Vezi A. Hermann, K. von Meyenn, V. F. Weisskopf, pag. 339.) Mi se pare plin de tîlc că Schrödinger caracterizează sensul fizic tradițional al termenului *înțelegere* ca „înțelegere în sensul obișnuit al cuvîntului“. Reacția negativă a fizicianului austriac față de tendința, caracteristică lui Bohr, de a împleti strîns argumentele fizice cu argumentele filosofice, exprimă, de fapt, convingerea lui profundă că bazele filosofice ale fizicii, spre deosebire de conceptele și teoriile ei speciale, nu pot și nu trebuie puse în discuție. Nu lipsa de interes pentru filosofie determina suspiciunea lui Schrödinger față de introducerea în discuție a unor argumente filosofice, ci convingerea lui profundă că ideile filosofice pe care se sprijină sînt incontestabile. Lui Bohr și discipolilor lui, pe de altă parte, le venea greu să înțeleagă cum se face că punctul lor de vedere nu este înțeles de cealaltă parte [8]. De aici unele formulări ironice, care ar fi putut fi resimțite chiar drept jignitoare, dacă considerația lor pentru statura profesională și umană a unor adversari ca Schrödinger nu ar fi fost bine cunoscută. Astfel, Pauli a calificat interpretarea lui Schrödinger „superstiție locală din Zürich“ *(Züricher Lokalaberglaube)* [9], o formulă care a primit repede circulație [10], iar Heisenberg într-o scrisoare către Pauli (8 iunie 1926) se exprima în termeni care pot surprinde și șoca mai ales pe cititorul de astăzi: „În plus, numai o singură remarcă neoficială despre fizică. Cu cît reflectez mai mult asupra părții fizice a teoriei lui Schrödinger, cu atît o găsesc mai detestabilă *(abscheulicher)*. Ceea ce spune

---

[7] Ascultînd argumentele lui Bohr, Schrödinger ar fi exclamat : „Dacă este vorba să rămînem la aceste blestemate salturi cuantice, atunci regret că m-am ocupat vreodată cu teoria cuantelor." (W. Heisenberg /9/, pag. 108.)

---

[8] Heisenberg menționează, este adevărat, că aceste discuții probau cît de greu este să-i convingi, chiar și „pe cei mai buni fizicieni“ de necesitatea de a renunța la o descriere spațio-temporală a proceselor atomice“ (vezi W. Heisenberg /9/, pag. 109), dar aceasta este totuși o reflecție retrospectivă, la o distanță de peste patruzeci de ani.

[9] Schrödinger era atunci profesor la Școala politehnică din Zürich.

[10] Pauli se justifica astfel într-o scrisoare către Schrödinger: „Cît privește observația mea despre 'superstiția locală din Zürich', aș dori să te rog foarte mult să nu o consideri drept neprietenească, ci ca expresie a convingerii lucide că fenomenele cuantice manifestă în natură aspecte care nu pot fi prinse numai prin conceptele fizicii clasice (a fizicii cîmpului). Nu

Schrödinger despre intuitivitatea teoriei sale ... găsesc că sînt prostii.“ (?!) (A. Hermann, K. von Meyenn, V. F. Weisskopf, pag. 328.)

O poziție principial negativă a adoptat grupul lui Bohr și față de ipotezele lui de Broglie, inspirate, în primul rînd, de preocuparea pentru descrierea în limbajul imaginilor intuitive a fenomenelor ce constituie baza experimentală a teoriei cuantelor. În lucrări apărute încă în anii 1923—1924, de Broglie a postulat caracterul dublu, ondulatoriu și corpuscular, al substanței, și a încercat să-i dea o explicație intuitivă. În anii 1926—1927, el a elaborat o interpretare a mecanicii ondulatorii a lui Schrödinger care a fost numită „teoria dublei soluții“. În cadrul acestei interpretări, particulele elementare apar ca singularități încorporate în structura undelor materiale și ghidate de propagarea acestor unde. Dacă membrii grupului de la Copenhaga au acordat totuși mai puțină atenție acestei tentative „contrarevoluționare“, decît celei a lui Schrödinger, și au judecat-o cu mai multă îngăduință [11], explicația era că, pe de o parte, ea era mai puțin radicală, în sensul că nu nega existența particulelor, iar, pe de altă parte, prezenta grave dificultăți matematice [12], recunoscute mai tîrziu chiar de autorul ei. (Vezi L. de Broglie /5/, pag. 150.)

Criticînd concepțiile lui Schrödinger și de Broglie, Bohr și tinerii fizicieni care-l urmau, cu deosebire Pauli și Heisenberg, distingeau clar matematica mecanicii ondulatorii de interpretarea ei fizică. Ei recunoșteau că nu există o interpretare fizică satisfăcătoare a mecanicii matriciale sau ondulatorii. Discuțiile din anul 1926 i-au făcut să devină și mai conștienți de însemnătatea și

---

crede însă că această convingere îmi face viața ușoară. M-am chinuit deja mult din cauza ei și va trebui să fac aceasta și de acum înainte.“ (A. Hermann, K. von Meyenn,, V. F. Weisskopf, pag. 357.)

[11] Vezi scrisoarea lui Pauli către Bohr din 6 august 1927, în A. Hermann, K. von Meyenn, V. F. Weisskopf, pag. 405.

[12] Probabil din acest ultim motiv, expunerea lui de Broglie la conferința Solvay de la Bruxelles, din octombrie 1927, care cuprindea, după propria lui caracterizare ulterioară, o versiune incompletă și diluată a ceea ce a numit teoria undei-pilot, a fost foarte puțin discutată. Chiar Einstein, care simpatiza evident cu intenția fundamentală a tentativei lui de Broglie, restabilirea idealului explicativ tradițional al fizicii teoretice, s-a referit la ea doar în treacăt. (Vezi M. Jammer /1/, pag. 357.)

urgența elaborării unei interpretări fizice a formalismului matematic al noii mecanici cuantice. O asemenea interpretare presupunea determinarea semnificației simbolurilor de bază, raportarea acestor simboluri și a expresiilor matematice la conceptele fizicii clasice, care erau utilizate pentru descrierea bazei experimentale a teoriei. O interpretare adecvată a formalismului matematic al teoriei trebuia să permită înlăturarea contradicției aparente dintre recunoașterea urmelor traiectoriilor electronilor în camera lui Wilson și contestarea existenței unor traiectorii ale mișcării electronilor în interiorul atomului, care apărea drept o consecință necesară a acestui formalism[13]. Începînd din toamna anului 1926, Bohr și Heisenberg și-au concentrat eforturile în această direcție. După discuții prelungite, nu lipsite de tensiuni (vezi W. Heisenberg /9/, pag. 109), ei au formulat două soluții distincte, chiar dacă în ultimă instanță convergente, al căror nucleu îl constituie relațiile de impreciziune ale lui Heisenberg și respectiv principiul complementarității al lui Bohr. Ele au constituit baza așa-numitei interpretări standard sau a interpretării de la Copenhaga a mecanicii cuantice.

Interpretarea inițială a lui Heisenberg[14], a cărei alură filosofică este vizibil mai modestă decît cea a interpretării lu Bohr, a fost formulată pentru prima dată într-un articol intitulat *Despre conținutul intuitiv al cinematicii și mecanicii cuantice*, publicat în vara anului 1927. Această interpretare pornește, cum reiese clar din scrisoarea pe care i-a adresat-o Heisenberg lui Pauli la 23 februarie 1927, de la o analiză a procesului de măsurare, efectuată pe bază de experimente mintale. Heisenberg formulează problema localizării electronului în mod operaţionalist, ca problemă a modului cum putem determina localizarea unui electron cu ajutorul unui microscop ideal, de mare putere, numit şi „microscop Heisenberg". Precizia cu care putem determina localizarea electronului depinde de lungimea de undă a razelor de lumină utilizate în acest scop. Dacă folosim raze cu lungimi de undă destul de mici putem să precizăm destul de mult localizarea electronului într-un moment al timpului. Tocmai pe acest temei caracterizăm electronul drept un corpuscul. Dar razele de lumină utilizate pentru localizarea electronului modifică simultan caracteristicile sale mecanice (impulsul sau cantitatea de mişcare) care devin nedeterminate. Reciproca este valabilă în cazul determinării destul de precise a impulsului electronului, prin utilizarea unor raze de lumină cu lungimi de undă destul de mari ; localizarea electronului devine simultan nedeterminată. Heisenberg a arătat că relaţia dintre nedeterminarea localizării spaţiale şi nedeterminarea impulsului poate să primească o expresie matematică. Şi anume, produsul nedeterminării coordonatelor spaţiale şi a impulsului electronului nu poate să fie mai mare decît cuanta de acţiune a lui Planck. Aceste relaţii, numite relaţii de impreciziune, incertitudine sau nedeterminare, permit stabilirea relaţiei dintre matematica teoriei cuantelor şi observaţiile ce pot fi făcute în camera Wilson sau, altfel spus, trecerea de la microfizică la macrofizică [15]. Heisenberg susţinea că ele reprezintă pentru mecanica cuantică ceea ce este relativitatea simultaneităţii pentru teoria relativităţii. Dacă s-ar putea realiza un experiment în care să fie posibilă determinarea simultană, mai precisă, a celor două mărimi, el ar dovedi falsitatea mecanicii cuantice.

---

[13] „Într-adevăr, noi amîndoi (Bohr și Heisenberg — M.F.), nu puteam înțelege cum putea fi pus de acord un fenomen atît de simplu cum este traiectoria unui electron într-o cameră Wilson cu formulele mecanicii cuantice sau ondulatorii. În mecanica cuantică, conceptul de traiectorie nu apărea pur și simplu, iar în mecanica ondulatorie el reprezenta o undă materială cu dimensiuni mici ; aceasta trebuia însă să se propage în domenii spațiale care erau mult mai mari decît diametrul unui electron. Or, situația experimentală se prezintă în mod sigur altfel". Și mai departe : „Traiectoria unui electron în camera Wilson există, putem doar să o observăm. Schema matematică a teoriei cuantelor există de asemenea, și ea era mult prea convingătoare pentru a mai permite schimbări. Așa că legătura trebuia să fie stabilită, în ciuda tuturor aparențelor exterioare." (W. Heisenberg /9/, pag. 110—111.)

[14] Calificarea acestei interpretări, elaborată în deceniul al treilea, ca „inițială" are în vedere dezvoltarea ei în lucrările mai tîrzii ale lui Heisenberg, în special în cunoscuta lui carte *Fizică și filosofie* (1958).

Interpretarea lui Bohr, bazată pe principiul complementarităţii, a fost elaborată tot în anul 1927, şi prezentată pentru prima dată într-o expunere pe care a ţinut-o la Congresul de fizică de la Como din septembrie 1927 și apoi în alte expuneri și articole, reunite în volumul *Teoria atomică și descrierea fenomenelor*. Această interpretare a fost preluată, apărată, nuanțată și precizată în lucrările filosofice publicate de Bohr pînă la sfîrșitul vieții sale. Sîmburele interpretării lui Bohr îl constituie elaborarea consecințelor filosofice ale indivizibilității cuantei de acțiune, pe baza relațiilor de impreciziune ale lui Heisenberg. [16] Indivizibilitatea cuantei de acțiune implică imposibilitatea de a separa fenomenul supus observației și măsurării de ambianța experimentală [17]. Oricît de familiară, de la sine înțeleasă este o asemenea separare, ea poate fi caracterizată, odată cu pătrunderea cunoașterii noastre pînă la nivelul structurii atomice a substanței și radiației, drept o idealizare ce poate fi aplicată, fără restricții, doar pentru descrierea unor domenii determinate ale realității fizice. (Vezi N. Bohr /4/, pag. 19.) Mai precis, orice observație sau măsurare științifică implică o interacțiune finită între instrumentele folosite de experimentator, pe de o parte, și sistemul supus observației sau măsurării, pe de altă parte. Atît în teoriile fizicii clasice, cît și în teoria relativității, care au în vedere obiecte macroscopice constituite dintr-un număr imens de atomi, schimbările pe care le produce această interacțiune în sistemul fizic supus observației sînt însă infime, și deci neglijabile. Din punct de vedere practic, chiar dacă nu din punct de vedere principial, putem considera că în aceste cazuri sistemul fizic este independent de actul observației, în sensul că observația lui nu determină modificări care merită să fie luate în considerare ale caracteristicilor de stare ale sistemului. La acest nivel atomic, postularea independenței obiectului observației de natura și caracteristicile dispozitivelor de observație drept o exigență absolută înseamnă, de fapt, excluderea oricărei posibilități de observare și măsurare. „Postulatul cuantic ... exprimă că orice observație a fenomenelor atomice atrage după sine o interacțiune finită cu instrumentul de observație ; nu putem, prin urmare, să atribuim nici fenomenelor, nici instrumentului de observație, o realitate fizică autonomă, în sensul obișnuit al cuvîntului.“ (N. Bohr /2/, pag. 51.) Altfel spus, instrumentele de observație și măsurare și sistemul fizic supus observației și măsurării sînt părți ale unui întreg, ale unui tot indisociabil. O consecință fundamentală a acestei situații noi este intervenția unei limitări esențiale a posibilității aplicării simultane a conceptelor fizicii clasice la descrierea fenomenelor atomice. Această limitare este exprimată de Bohr prin principiul complementarității. În formularea cea mai generală, termenul *complementaritate* semnifică că la nivel atomic „orice aplicare a conceptelor clasice exclude utilizarea simultană a altor concepte clasice, tot atît de necesare, în alte împrejurări, pentru explicarea fenomenelor“. (N. Bohr /4/, pag. 9.) Mai precis, aplicarea conceptelor ondulatorii și corpusculare clasice primește un caracter complementar. Datele experimentale indică necesitatea utilizării atît a conceptelor ondulatorii, cît și a celor corpusculare pentru descrierea caracteristicilor substanței și ale radiației[18]. Aplicarea lor simultană pentru descrierea unei situații experimentale nu este însă în mod obiectiv posibilă. După cum arată relațiile de imprecizine ale lui Heisenberg, în dispozitivele experimentale care permit localizarea destul de precisă a unei particule, impulsul ei este nedeterminat, și invers, în dispozitivele experimentale care fac posibilă măsurarea cu o precizie satisfăcătoare a impulsului particulei, coordonatele ei spațiale devin nedeterminate. Cu alte cuvinte, determinarea poziției implică o ruptură în descrierea cauzală a comportamentului dinamic al particulei, iar cunoașterea impulsului nu poate fi obținută decît cu prețul unei lacune în descrierea spațio-temporală. (Vezi N. Bohr /2/, pag. 64.) Descrierea spațio-temporală și descrierea cauzală a unei microparticule, a căror unire este o caracteristică fundamentală a teoriilor clasice, devin complementare. „Se poate spune că teoria cuantică ne învață că dacă modul nostru de intuire în același timp cauzal și spațio-temporal este bine adaptat scopului său, aceasta ține exclusiv de micimea cuantei față de acțiunile ce intervin în percepțiile noastre senzoriale obișnuite." (N. Bohr /2/, pag. 52.) Principiul complementarității este caracterizat de Bohr drept expresia unei limitări principiale, de nedepășit a posibilităților reprezentărilor intuitive, familiare și ale limbajului curent în descrierea fenomenelor atomice. Dacă înțelegem că această limitare are rațiuni obiective, că ea exprimă caracteristici ireductibile ale lumii subatomice, în speță indisociabilitatea întregului constituit din sistemul fizic și dispozitivele de observare și măsurare ale acestui sistem, atunci o vom interpreta nu ca expresie a unei mărginiri principiale a cunoașterii fizice, ci drept un mare succes al cunoașterii [19]. Un mare succes, fiindcă descoperim că posibilitatea de a neglija interacțiunea dintre sistemul fizic și dispozitivele de observație ale acestui sistem are doar o semnificație practică pentru nivele determinate ale realității fizice. Un mare succes, în măsura în care ne arată că exigența unei descrieri cauzale și spațio-temporale simultane, considerată mult timp ca neproblematică, este doar o apro-

---

[15] Pauli a răspuns primei scrisori (23 februarie 1927) în care Heisenberg dezvolta această interpretare cu cuvintele : „Se face lumină în mecanica cuantică". (A. Hermann, K. von Meyenn, V. F. Weisskopf, pag. 376.)

---

[16] „În mod general, mărimea finită a cuantei de acțiune nu permite să facem o distincție netă între fenomen și instrumentul de observație, distincție cerută de conceptul obișnuit de observație și, prin urmare, de ideile cinematicii clasice." (N. Bohr /4/, pag. 10.)

[17] M. Jammer (/1/, pag. 395) califică afirmația că Bohr ar fi derivat principiul complementarității din relațiile de impreciziune drept „greșită atît din punct de vedere istoric, cît și conceptual". Relațiile de impreciziune — susține Jammer — au confirmat un punct de vedere formulat mai înainte de Bohr ; descoperirea lor a stimulat însă o formulare definitivă a principiului complementarității.

---

[18] M. Jammer /1/ susține că principiul complementarității a început să se contureze în mintea lui Bohr prin anul 1925, cînd el a acceptat sub influența experimentelor lui Bothe-Geiger, existența cuantelor de lumină și deci a dualității undă-corpuscul, pe care o respinsese pînă atunci. Admiterea caracterului ireconciliabil și în același timp indispensabil al unor descrieri corpusculare și ondulatorii simultane l-a condus pe Bohr la complementaritate. El a considerat relațiile de imprecíziune ale lui Heisenberg, formulate ulterior, ca o expresie matematică a acestui raport. Un alt cunoscut istoric contemporan al fizicii subliniază că în anul 1927, cînd se confruntau interpretarea lui Schrödinger, bazată pe conceptul de undă materială, cu interpretarea probabilistică a grupului de la Göttingen în frunte cu Born, bazată pe conceptul de particulă, Bohr a căutat o cale care să-i permită să conserve ambele imagini ca descrieri valide ale naturii, „acceptînd dualitatea continuitate-discontinuitate (sau undă-particulă) ca un fapt ireductibil, în loc de a încerca să dizolve un membru al perechii în celălalt, cum a încercat să facă cu ocazia dezvoltării punctului de vedere al principiului corespondenței.“ (G. Holton /3/, pag. 1030.)

---

[19] „Obligația căreia îi sîntem supuși, de a renunța astfel la o reprezentare intuitivă și la o descriere cauzală a fenomenelor (în sensul clasic al termenului — M.F.), ar putea să ne apară ca o decepție după speranțele pe care le-am pus în ideile atomistice. Dar în realitate, din punctul de vedere actual al teoriei atomului, noi trebuie să considerăm această obligație ca o etapă esențială în progresul cunoștințelor noastre." (N. Bohr /5/, pag. 108.)

ximaţie care poate fi aplicată cu succes numai în acele situaţii în care cuanta de acţiune este neglijabilă.

Să încercăm să determinăm mai precis semnificaţia filosofică a principiului complementarităţii. Ideea lui Bohr este că realităţile microcosmosului, aşa cum ne sînt cunoscute prin experimentele fizicii atomice, impun modificări la nivelul „principiilor fundamentale ale descrierii fenomenelor“ [20] sau al „bazelor interpretării obişnuite a observaţiilor“. Cerinţele sau normele generale ale descrierii fenomenelor, pe care fizica clasică le observa în mod spontan şi le considera ca ceva de la sine înţeles, trebuie revizuite pentru a adapta forma gîndirii fizice la noul conţinut, pus în evidenţă de experienţă [21]. Aceasta face ca problema interpretării fizice a teoriei cuantelor să devină o problemă nemijlocit filosofică. Întrebarea în ce fel ar trebui să fie reformulate condiţiile generale ale descrierii fenomenelor pentru a face posibilă înţelegerea noilor experienţe este o întrebare în acelaşi timp fizică şi filosofică. Teoreticianul care lucrează în domeniul fizicii atomice este constrîns să caute un răspuns la această întrebare, indiferent dacă este sau nu interesat în mod personal de probleme filosofice. În principiu, fizicianul atomist care admite că există o incompatibilitate principială între noile date ale experienţei şi reprezentarea obişnuită, adoptată spontan de cercetătorii naturii, cu privire la condiţiile unei descrieri satisfăcătoare a fenomenelor fizice are de ales între două căi : formularea unui concept nou, neclasic al descrierii fizice sau precizarea limitărilor pe care le impun fenomenele atomice aplicării în acest domeniu a conceptului clasic al descrierii fizice. (Distincția dintre aceste două căi nu este netă în măsura în care și precizarea limitelor aplicării conceptelor clasice la descrierea fenomenelor atomice înseamnă, de fapt, modificarea conceptului clasic al descrierii fizice, dar ea este totuși reală.) Formulînd principiul complementarității, Bohr a ales cea de a doua cale, și nu prima, care este fără îndoială mai radicală. Însemnătatea evidențierii și discutării temeiurilor acestei opțiuni nu poate fi supraapreciată, căci este vorba de presupoziții filosofice esențiale. pe care se sprijină interpretarea şcolii de la Copenhaga. Bohr pornea de la consideraţia simplă că noțiunile clasice sînt aplicate fără restricții în descrierea caracteristicilor instalaţiilor experimentale și a rezultatelor observațiilor făcute cu ajutorul acestor instalații. ceea ce este cu totul firesc dat fiind că atît unele cît și celelalte sînt fenomene macroscopice.[22] Acest fapt creează însă o situație aparent contradictorie : pe de o parte, exprimăm rezultatele observațiilor și experiențelor noastre asupra fenomenelor atomice în limba obișnuită, ceea ce înseamnă că introducem și distincția curentă între dispozitivele de măsurare şi obiectele supuse măsurării, considerîndu-le pe ultimele independente de primele ; pe de altă parte, știm că la nivelul atomic cuanta de acțiune nu poate fi neglijată și că, prin urmare, sistemul măsurat nu poate fi descris ca o entitate ce există în mod separat, independent de dispozitivele de măsurare[23]. Bohr a considerat că singura cale de a depăşi această contradicţie este de a utiliza mai departe conceptele clasice dar de a specifica totodată limitele aplicării lor în descrierea fenomenelor atomice. Ideea complementarităţii ni se impune oarecum constrîngător dacă acceptăm, pe de o parte, că în mecanica cuantică nu putem să renunţăm la conceptele clasice, fiindcă numai cu ajutorul lor putem descrie faptele ce constituie baza experimentală a teoriei, iar, pe de altă parte, că nu putem să aplicăm fără restricţii aceste concepte pentru descrierea unor fenomene în care cuanta de acţiune intervine în mod esenţial.[24].

---

[20] În acest sens sînt semnificative chiar titlurile unora din primele articole, în care Bohr dezvoltă principiul complementarităţii : *Cuanta de acţiune şi descrierea fenomenelor* (1929), *Teoria atomică şi principiile fundamentale ale descrierii fenomenelor* (1930), precum şi ale celor două culegeri de articole cu tematică filosofică, publicate de Bohr : *Fizica atomică şi descrierea fenomenelor*, respectiv *Fizica atomică şi cunoaşterea umană.*

[21] Bohr vorbea mai tîrziu de o contradicţie între fenomenele cuantice şi „principiile obişnuite ale filosofiei naturii“, de „necesitatea unei noi examinări a bazelor unei folosiri clare a ideilor din fizica obişnuită“ sau de „nevoia revizuirii totale a principiilor de bază ale explicaţiei fizice“ şi rezuma punctul său de vedere cu privire la noua situaţie pe care a creat-o apariţia şi dezvoltarea teoriei cuantelor, şi apoi a mecanicii cuantice, în felul următor : „Lecţia pe care am primit-o în acea etapă s-ar părea că ne-a adus cu un pas decisiv înainte, în lupta neîncetată pentru armonie între conţinut şi formă. Ea ne-a arătat încă o dată că nici un conţinut nu poate fi înţeles fără o schemă formală, şi că orice formă, oricît de utilă s-a dovedit pînă acum, poate fi găsită prea îngustă pentru a cuprinde noi experienţe.“ (N. Bohr /7/, pag. 87.)

---

[22] „După natura însăşi a observării fenomenelor fizice, toate experiențele trebuie să fie descrise, **în ultimă analiză, în mod** necesar, cu ajutorul conceptelor clasice, făcînd abstracție de cuanta de acțiune.“ (N. Bohr /3/, pag. 89.) Bohr considera drept evident punctul de vedere că *„oricît de mult ar depăşi unele fenomene domeniul explicațiilor clasice ale fizicii, exprimarea tuturor rezultatelor trebuie făcută în termeni clasici.* Argumentul este pur și simplu acela că prin cuvîntul 'experiment‘ ne referim la o situație în care putem să spunem altora ceea ce am făcut și ceea ce am învățat. De aceea, descrierea dispozitivului experimental și redarea rezultatelor observației trebuie făcute într-un limbaj clar, prin folosirea convenabilă a terminologiei fizicii clasice.“ (N. Bohr /7/, pag. 56.) (În penultima frază, mi-am permis să corectez traducerea românească care este evident greșită — M.F.)

Principiul complementarităţii a fost conceput de Bohr ca o încercare de a explica aşa-numitul „dualism corpuscul-undă", pe care îl pun în evidenţă datele experimentale. În ce constă acest „dualism", în cazul radiaţiei luminoase şi respectiv al substanţei ? Propagarea luminii în timp şi spaţiu este descrisă, cum se ştie, de teoria electromagnetică. Această teorie explică prin suprapunerea undelor fenomenele de interferenţă, ca şi proprietăţile optice ale substanţei. Dar pentru a asigura satisfacerea legii conservării energiei şi impulsului în interacţiunea dintre radiaţia luminoasă şi substanţă, de exemplu în efectul fotoelectric şi în efectul Compton, a trebuit să fie introdusă particula de lumină, fotonul. Odată cu punerea în evidenţă a „dualităţii" fenomenelor luminoase constatăm că cerinţa clasică a descrierii spaţio-temporale şi cauzale simultane a acestor fenomene nu mai poate fi satisfăcută. Observînd fenomenele luminoase drept unde care se propagă în spaţiu, excludem observarea simultană a interacţiunilor în care intervin fotoni individuali, şi invers, înregistrînd caracteristicile cuantice, discontinue ale luminii, eliminăm în mod obiectiv posibilitatea localizării lor spaţio-temporale. Acelaşi raport există între descrierea electronilor ca particule individuale şi, respectiv, ca fenomene ondulatorii în cazul difracţiei lor în trecerea prin reţele cristaline (metalice). Cele două descrieri sînt caracterizate de Bohr drept *complementare*. Termenul indică, în primul rînd, că descrierile se exclud reciproc şi, prin urmare, nu pot fi realizate simultan, iar în al doilea rînd, că ele se completează reciproc reprezentînd numai împreună o descriere cît de cît completă a efectelor cunoscute experimental[25]. Bohr sublinia, totodată, că noţiunile clasice de *undă* şi de *particulă materială liberă*, şi imaginile corespunzătoare, deşi indispensabile pentru descrierea fenomenelor atomice, nu pot fi totuşi considerate decît ca abstracţii, ca prime aproximaţii. Termenii *particulă* şi *undă* nu mai sînt în mecanica cuantică decît analogii clasice. Dată fiind existenţa cuantei de acţiune, aceşti termeni nu mai desemnează în teoria cuantică, ca în teoriile clasice, entităţi fizice ce pot fi considerate separat, independent de interacţiunea lor cu dispozitivele experimentale. (Vezi N. Bohr /2/, pag. 53—54.) Bohr vorbeşte în acest sens de o „limitare absolută“ a utilizării reprezentărilor intuitive în descrierea fenomenelor atomice, indicînd că ea „s-a prezentat sub aparenţa unei dileme în problema naturii luminii şi a substanţei“. (Vezi N. Bohr /5/, pag. 108.) Reluînd interpretarea lui Bohr, Heisenberg scria că imaginile ondulatorii şi corpusculare „fiind analogii, nu pot pretinde valabilitate decît în anumite cazuri limitate ; în totalitatea lor însă, fenomenele atomice nu pot fi descrise nemijlocit în limbajul nostru". (Vezi W. Heisenberg /1/, pag. 15.)

---

[23] „Trăsătura esenţial nouă în analiza fenomenelor cuantice — se explică Bohr, în una din ultimele sale lucrări cu caracter filosofic — este introducerea unei *distincţii fundamentale între aparatele de măsură şi obiectele supuse cercetării.* Aceasta este o consecinţă directă a necesităţii de a da socoteală de funcţiile instrumentelor de măsurare în termeni pur clasici, excluzînd, în principiu, orice referire la cuanta de acţiune. La rîndul lor, trăsăturile cuantice ale fenomenelor sînt puse în evidenţă în informaţia despre obiectele atomice derivată din observaţii. Dacă în cadrele fizicii clasice interacţiunea dintre obiect şi aparat poate fi neglijată sau, dacă este necesar, compensată, în mecanica cuantică această interacţiune constituie o parte inseparabilă a fenomenului." (N. Bohr /10/, pag. 310—311.)

[24] „Într-un cuvînt, pentru a ţine seama de postulatul cuantic în descrierea fenomenelor atomice va trebui să dezvoltăm o 'teorie a complementarităţii', a cărei necontradicţie nu poate fi judecată decît confruntînd posibilităţile de definiţie şi posibilităţile de observaţie." (N. Bohr /2/, pag. 52.)

---

[25] Demne de menţionat, pentru claritatea lor deosebită, sînt formulările date de Heisenberg principiului complementarităţii : „Sforţările lui Bohr erau îndreptate spre conservarea ambelor reprezentări intuitive, imaginea corpusculară şi imaginea ondulatorie, ca fiind în mod egal îndreptăţite. El încearcă să spună că aceste două reprezentări se exclud reciproc, dar că ele fac posibilă doar împreună o descriere completă a evenimentelor atomice.“ (W. Heisenberg /9/, pag. 109.) „Aceste două abordări se exclud, ce-i drept, dar ele se şi completează şi numai prin alăturarea celor două abordări ce se contrazic va putea fi pe deplin epuizat conţinutul intuitiv al fenomenului.“ (W. Heisenberg /9/, pag. 113.)

Este clar deci că soluția pe care o oferă principiul complementarității nu poate să reprezinte mai mult decît un compromis, în cel mai bun caz rezonabil. Un compromis, în măsura în care se încearcă descrierea fenomenelor lumii atomice prin forme de gîndire și structuri lingvistice care sînt adaptate pentru descrierea unei realități esențial diferite, realitatea experienței curente și a fizicii clasice. Limba de toate zilele, care a putut fi folosită cu succes în fizica clasică, nu este în măsură, prin natura lucrurilor, să reprezinte un instrument adecvat pentru descrierea particularităților ireductibile ale noului univers al microcosmosului. Ea oferă cel mult analogii utile care pot sugera aceste particularități, le pot exprima într-un mod indirect, metaforic. Bohr nu-și făcea iluzii în această privință[26]. El era dispus să recunoască că o asemenea soluție a problemei interpretării mecanicii cuantice este departe de ceea ce ne-am putea dori, dar credea că trebuie să ne mulțumim cu ea în lipsa unei alternative[27]. „Evident, nu putem găsi aici o explicație fizică, în sensul obișnuit al cuvîntului. Tot ceea ce am putea pretinde într-un nou domeniu experimental este să putem înlătura orice contradicție aparentă. Oricît de diferite ar fi fenomenele atomice observate în diferite condiții experimentale, astfel de fenomene trebuie considerate complementare în sensul că fiecare este bine definit și că, împreună, ele epuizează toate cunoștințele asupra obiectelor considerate." (N. Bohr /9/, pag. 117.)

---

[26] În dialogurile sale filosofice, dialoguri în care Bohr apare ca personaj principal, Heisenberg exprima poziția marelui fizician danez față de această situație nouă, într-o perioadă încă de început în teoria cuantelor (1922), astfel: „Din cauza stabilității materiei, fizica clasică nu poate fi corectă în interiorul atomului, ea poate în cel mai bun caz să ofere doar un punct de sprijin. De aceea, nu va putea exista o descriere intuitivă a structurii atomului, căci o asemenea descriere, tocmai fiindcă ar fi intuitivă, ar trebui să se folosească de conceptele fizicii clasice, care nu mai prind ceea ce se întîmplă. Înțelegeți că printr-o asemenea teorie se încearcă ceva propriu-zis imposibil. Căci noi trebuie să enunțăm ceva despre structura atomului, dar nu avem o limbă prin care să ne putem face înțeleși. Sîntem deci, într-o anumită măsură, în situația unui navigator, care a fost aruncat într-o țară îndepărtată în care nu numai condițiile de viață sînt cu totul altele decît cele pe care le cunoaște din țara lui natală, dar și limba oamenilor care trăiesc acolo îi este cu totul străină. El nu se poate lipsi de comunicare, dar nu dispune de nici un mijloc pentru comunicare. Într-o asemenea situație, o teorie nu poate 'explica' într-un sens care este altfel obișnuit în știință. Este vorba de a scoate la iveală corelații și de a ne croi precaut drumul înainte." (W. Heisenberg [9], pag. 62.)

[27] Bohr a considerat că toate criticile la adresa complementarității, bineînțeles cele pe care le-a cunoscut, au fost făcute de pe poziții în esență conservatoare și nu au propus deci o asemenea alternativă.

— Explicația dualismului corpuscul-undă, pe baza principiului complementarității, include și un punct de vedere determinat asupra temeiurilor intervenției probabilităților în mecanica cuantică. Pauli a înțeles și exprimat foarte bine acest aspect al chestiunii, pe cînd îl asista pe Bohr în pregătirea primei expuneri în limba germană a principiului complementarității (vezi N. Bohr /3/). „În mod deosebit mi-a devenit clar, îi scria el lui Bohr la 17 octombrie 1927, că interpretarea statistică a rezultatelor teoretice intervine întotdeauna în momentul în care divizăm un sistem închis în două părți, care sînt interpretate ca obiect observat, respectiv ca instrument de măsurare, și ne întrebăm ce putem să spunem despre o parte fără cunoașterea celeilalte." (Vezi A. Hermann, K. von Meyenn și V. F. Weisskopf, pag. 411.) Cu alte cuvinte, probabilitățile vor interveni în mod inevitabil în descrierea evenimentelor atomice în limba obișnuită, în limba în care comunicăm rezultatele observațiilor noastre asupra acestor evenimente. Utilizarea acestei limbi echivalează cu încercarea de a descrie caracteristici de stare ale unor evenimente care sînt perturbate și modificate continuu în interacțiunea lor cu instrumentele de măsură. Intervenția probabilităților în fizica cuantică nu este legată deci în primul rînd de dificultățile practice de a măsura toate determinările de stare ale sistemelor cercetate, ci de particularitățile noii situații, de faptul că interacțiunea dintre fenomenul atomic și aparatul de măsură constituie, cum se exprimă Bohr, „o parte inseparabilă a fenomenului". Obiectele fizicii cuantice sînt obiecte microscopice care se găsesc în interacțiune continuă cu instrumentele de observare și măsurare macroscopice. Dacă admitem că obiectele cuantice nu pot fi descrise făcînd abstracție de aceste interacțiuni, va trebui să recunoaștem că ele nu sînt susceptibile decît de o caracterizare probabilistă. Bunăoară, dispozitivele experimentale care permit localizarea spațio-temporală a particulelor elementare conțin rigle gradate și ceasuri sincronizate care nu pot înregistra, prin însăși natura lor, impulsul pe care-l transmit aceste particule. Invers, instalațiile experimentale ce permit precizarea impulsului particulelor nu fac posibilă localizarea lor exactă în spațiu și timp. Trecerea de la un aranjament experimental la altul, care este neceasră pentru a obține o informație completă asupra particulei, distruge, de fapt, obiectul observației, determinînd apariția unor noi evenimente atomice. Dispar astfel înseși bazele unei descrieri deterministe stricte, de tip clasic, adică posibilitatea precizării simultane a tuturor caracteristicilor de stare relevante ale particulelor. (Vezi N. Bohr /9/, pag. 117.) Probabilitățile intervin deci într-un mod ireductibil în descrierea obiectelor fizicii cuantice, și nu datorită limitelor momentane ale posibilităților noastre de a preciza caracteristicile de stare ale acestor obiecte. Altfel spus, caracteristicile de stare ale obiectelor fizicii cuantice vor putea fi descrise întotdeauna doar probabilist, și nu într-un mod mai precis, chiar în condițiile unui progres nelimitat al instrumentelor noastre de observație și experimentare. Fizicieni ca Einstein și de Broglie, care au criticat interpretarea standard a mecanicii cuantice de pe poziții filosofice tradiționale, resimțeau această concluzie cu privire la caracterul ireductibil probabilistic al descrierii stărilor cuantice drept o prohibiție sau o renunțare, incompatibilă cu spiritul cunoașterii științifice[28]. Dimpotrivă, Bohr a considerat fizica cuantică ca un moment de cotitură în dezvoltarea cunoașterii noastre asupra naturii, între altele datorită faptului că ea ne permite, pentru prima dată, să stabilim limitele idealului explicativ al fizicii clasice. Bohr folosea de obicei termenii *cauzalitate* și *determinism* pentru a descrie acest ideal.

În acest punct al discuției, ne apare cu multă pregnanță însemnătatea distincției între poziția filosofică propriu-zisă și exprimarea ei, exprimare care depinde de uzanțe terminologice și uneori chiar de preferințe terminologice cu caracter personal. Fără îndoială, opțiunile terminologice oscilante, schimbătoare și mai ales lipsa de preocupare a lui Bohr pentru precizarea sensului pe care îl conferea unor termeni ce aparțin limbajului filosofic tradițional au favorizat confuziile. Astfel, în lucrările lui filosofice cuprinse în culegerea *Fizica atomică și descrierea fenomenelor*, ca și în alte lucrări, el vorbește, de obicei, de „renunțarea la cauzalitate“, vizînd conceptul clasic, tradițional al cauzalității, care implică posibilitatea precizării simultane a tuturor caracteristicilor de stare relevante ale unui sistem fizic și a predicției acestor mărimi într-un alt moment al timpului pe baza unor legi stricte, neprobabilistice. Aceasta se poate vedea clar din context[29]. Bohr nu contesta fără îndoială cauzalitatea într-un sens larg, propriu-zis filosofic, al termenului, adică existența unei relații obiective între stări determinate ale obiectelor atomice considerate în interacțiunea lor cu dispozitivele experimentale într-un anumit moment al timpului și stări ale acestor obiecte în momente ulterioare ale timpului, precum și posibilitatea de a prevedea probabilitatea producerii unor evenimente atomice individuale în condiții experimentale bine definite[30]. Mai tîrziu (vezi Bohr

---

[28] Exprimări puțin fericite ale lui Heisenberg, ca aceea că relațiile de imprecizìune indică existența „unor granițe de netrecut ale cunoașterii umane“, au favorizat, desigur, o asememea înțelegere a lucrurilor.

---

[29] Deși poate nu mai este necesar să se insiste asupra acestui punct, amintesc totuși mărturia lui V. A. Fok, care capătă greutate atît datorită poziției filosofice limpezi a marelui fizician sovietic, cît și datorită contactului său strîns cu Bohr: „Bohr înțelege prin principiul cauzalității, cauzalitatea în sensul mecanicist îngust — în sensul determinismului de tip laplacean. Astfel, în realitate, Bohr se referă la incompatibilitatea mecanicii cuantice cu un determinism de tip laplacean, și nu la principiul cauzalității într-un sens mai general. În acest caz, putem fi de acord cu el.“ (V. A. Fok /1/, pag. 97.) Mai mult. Fok relatează că Bohr a fost de acord asupra utilității de a distinge principiul cauzalității, afirmarea caracterului legic al proceselor atomice, de determinismul de tip laplacean, pe care-l respingea drept incompatibil cu legile mecanicii cuantice. În fapt, Bohr utiliza însă pentru a desemna determinismul de tip mecanicist termenul *determinism* fără nici un fel de specificări.

[30] Susținînd fără rezerve punctul de vedere filosofic al lui Bohr, Heisenberg menționa în același timp, încă în lucrările sale de tinerețe, că se poate enunța „un fel de lege a cauzalității“, ca relație între determinările statistice ale stării microobiectului în două momente succesive ale timpului, distingînd-o pe aceasta de ceea ce numea „legea cauzalității în forma ei clasică“. (Vezi W. Heisenberg /1/, pag. 56 și pag. 59.) Heisenberg caracteriza incompatibilitatea relațiilor sale de imprecizìune cu principiul clasic al determinismului în termenii următori: în enunțul „Dacă cunoaștem prezentul, putem prezice viitorul“ nu concluzia, ci premisa este falsă. (Vezi M. Jammer /1/, pag. 330.)

/8/, pag. 95), el vorbea de renunțarea la ideea de *determinism,* folosind termenul pentru a desemna ideea de determinism a fizicii clasice. În asemenea exprimări, Bohr avea neîndoielnic în vedere că semnificația clasică a termenilor *cauzalitate* și *determinism* este în mod iremediabil impregnată de supoziția, practic justificată pentru sistemele macroscopice, că în descrierea și predicția caracteristicilor de stare ale sistemelor fizice putem face abstracție de interacțiunea lor cu dispozitivele experimentale. Fizica cuantică a stabilit granițele domeniului în care această supoziție este legitimă și pot fi deci aplicate conceptele clasice ale determinismului și cauzalității. În acest sens, și numai în acest sens, Bohr caracteriza punctul de vedere al complementarității drept o generalizare rațională a ideii clasice a cauzalității. (Vezi N. Bohr /6/, pag. 378 și N. Bohr /7/, pag. 58.)

57) Aminteam că, așa cum subliniază istoricii mecanicii cuantice, relațiile de imprecizune ale lui Heisenberg și principiul complementarității al lui Bohr au apărut ca interpretări distincte ale mecanicii cuantice. Inițial autorii acestor interpretări au avut rezerve față de cealaltă interpretare[31], dar aceste rezerve au putut fi repede înlăturate. Heisenberg a adoptat principiul complementarității ca interpretare filosofică generală a mecanicii cuantice, cum se poate vedea cel mai bine în cunoscuta lui monografie publicată în 1930[32], iar Bohr a expus în toate lucrările sale principiul complementarității pornind de la relațiile de imprecizune ale lui Heisenberg. Deși pot fi puse ușor în evidență deosebiri între conținutul relațiilor de imprecizune și al princi-

---

[31] „Bohr a avut la început unele rețineri față de relațiile de indeterminare, pe care le resimțea ca un caz prea special al situației generale a complementarității. Dar ne-am dat seama în curînd, ajutați în mod deosebit de fizicianul suedez Oscar Klein, care lucra pe atunci în Copenhaga, că nu mai există o deosebire serioasă între cele două interpretări, și că este vorba doar de a se prezenta situația pe deplin înțeleasă în așa fel încît, în ciuda noutății sale, să devină inteligibilă și opiniei publice a fizicienilor." (W. Heisenberg /9/, pag. 133.)

[32] Heisenberg caracterizează cartea, în prefața scrisă în martie 1930, drept o încercare de expunere sistematică a unei interpretări cuprinse deja în lucrări anterioare, în special în lucrările lui Bohr, subliniind că își propune răspîndirea „spiritului școlii de la Copenhaga." (Vezi W. Heisenberg /1/, pag. 5—6.)

piului complementarității[33], ele s-au contopit în interpretarea standard a mecanicii cuantice, numită și interpretarea școlii de la Copenhaga. Nu este de mirare că ulterior cercetătorii și filosofii științei fără interese istorice speciale nu au mai făcut o distincție clară între ele.

După mărturiile colaboratorilor apropiați ai lui Bohr și informațiile unor istorici contemporani ai științei[34], filosofia fizicii a lui Bohr s-a dezvoltat pe temelia unei concepții filosofice de ansamblu, a unui punct de vedere general asupra relației subiect-obiect și asupra naturii cunoașterii științifice. Această viziune filosofică[35], in care se scaldă ceea ce s-a numit interpretarea școlii de la Copenhaga, nu este însă ușor de precizat. Indicațiile sînt puține și nesigure. Ele sînt totuși convergente în ceea ce privește semnalarea interesului pe care l-a manifestat Bohr, mai ales în tinerețe, pentru concepțiile filosofice ale lui S. Kierkegaard și W. James, concepții pe care le-a cunoscut îndeosebi prin mijlocirea cunoscutului istoric danez al filosofiei H. Höffding, un prieten apropiat al familiei Bohr. Se pare că Bohr a fost izbit îndeosebi de temele dialectice ale gîndirii lui Kierkegaard, între altele de tematizarea relativității distincției dintre subiectul și obiectul cunoașterii. Se știe de asemenea că el a fost atras de concepția antiatomistă asupra gîndirii și de filosofia pragmatică a cunoașterii ale lui James. Se lasă să se înțeleagă că aceste influențe au contribuit la formarea unor înclinații filosofice care s-au manifestat activ în elaborarea interpretării pe care a dat-o Bohr, ulterior, mecanicii cuantice. Această interpretare ar purta amprenta puternică a orientării dialectice, holiste, antimecaniciste, precum și a celei pragmatiste, antirealiste, proprie gîndirii sale filosofice[36]. Sugestiile de acest fel nu sînt destul de clare. De aceea, o formulare în termeni mai preciși a problematicii raportului dintre concepțiile filosofice generale ale lui Bohr și interpretarea pe care a propus-o el mecanicii cuantice este de dorit.

---

[33] De exemplu, relațiile de imprecisiune exprimă complementaritatea poziției și momentului unei microparticule doar în sensul că ele nu pot fi determinate simultan cu o precizie cît de mare. Dimpotrivă, aspectul ondulator și corpuscular ale substanței sînt complementare în sensul strict al cuvîntului : un eveniment fizic nu poate avea simultan proprietăți ondulatorii și corpusculare. (Vezi G. Holton /3/, pag. 1050—1051.)

[34] Vezi îndeosebi A. Petersen /1/ și /2/, M. Jammer /1/ și /2/, G. Holton /3/ și H. P. Stapp.

[35] Ea nu interesează, aici, ca problemă în sine, ci numai în măsura în care favorizează o mai bună înțelegere a conținutului interpretării standard, a reacțiilor critice față de această interpretare și, în general, a controverselor pe care le-a generat ea printre fizicienii teoreticieni și filosofii științei.

Se pune mai întîi întrebarea dacă teme filosofice cum ar fi cea a relativității distincției subiect-obiect sau concepția pragmatistă asupra cunoașterii reprezintă elemente componente ale interpretării standard a mecanicii cuantice sau au servit doar drept analogii euristice în formularea interpretării, fără să se mai regăsească în conținutul gata constituit al acesteia. O a doua întrebare, și mai importantă decît prima, este dacă există o relație logică determinată între conținutul interpretării standard și anumite formulări cu rezonanțe subiectiviste, pragmatiste sau pozitiviste incontestabile din scrierile lui Bohr și Heisenberg, care intervin ca glose pe marginea acestei interpretări sau dacă, dimpotrivă, conținutul filosofic propriu-zis al interpretării nu este cîtuși de puțin afectat prin eliminarea unor asemenea comentarii.

Examinarea lucrărilor lui Bohr și Heisenberg nu oferă un răspuns univoc la prima întrebare. În texte scrise îndeosebi în deceniile trei și patru întîlnim comentarii filosofice cu o nuanță subiectivistă de netăgăduit, care intervin în însăși expunerea interpretării. Ele provin îndeosebi din echivalarea relației fizice aparat de observație-sistem fizic cu relația dintre subiectul și obiectul cunoașterii fizice. Astfel, în monografia sa din 1930, Heisenberg afirmă textual că noua teoria pune în discuție nu numai „o formulare precisă a legii cauzalității“, ci și „o împărțire riguroasă a lumii în subiect și obiect". (Vezi W. Heisenberg /1/, pag. 8.)[37] Aceeași confuzie dintre relația fizică între obiectul observației și instrumentele de observație și relația epistemică poate fi întîlnită într-un articol publicat de Bohr, tot în 1930: „Într-adevăr, descoperirea cuantei de acțiune nu ne învață numai că fizica clasică are o limită naturală, ci ne pune într-o situație fără precedent în fizică, ridicînd într-o formă nouă vechea problemă filosofică a existenței obiective a fenomenelor, independent de observațiile noastre. Am văzut într-adevăr că orice observație are drept consecință o intervenție în cursul fenomenelor, care face în mod esențial imposibilă orice descriere cauzală." (N. Bohr /5/, pag. 108.) Acest pasaj poate fi înțeles în moduri diferite. Ceea ce decide este în primul rînd interpretarea a ceea ce are în vedere Bohr cînd spune că fizica cuantică ridică „într-o formă nouă, vechea problemă filosofică a existenței obiective a fenomenelor, independent de observațiile noastre". Aici expresia „formă nouă" poate fi desigur înțeleasă ca semnificînd „într-un alt context", „pe un alt plan", adică pe planul cunoașterii fizice. În acest caz, relația aparat macroscopic-obiect atomic este evident echivalată cu relația subiect-obiect, și rezultă că relațiile de imprecizìune sprijină un punct de vedere subiectivist în această „veche problemă filosofică". Mai tîrziu, îndeosebi după 1950, asemenea formulări nu mai pot fi întîlnite în textele lui Bohr și Heisenberg. Mai mult, ei au prevenit asupra confuziilor nedorite pe care le-ar putea ele genera. Bohr sublinia acum că descrierea fenomenelor atomice este relativă la dispozitivele fizice de observație și măsurare și nu la subiect, la „observatorul subiectiv". Prima raportare, spre deosebire de a doua, este pe deplin compatibilă cu recunoașterea caracterului obiectiv al fenomenelor atomice și al obiectivității descrierii lor științifice. (Vezi N. Bohr /9/, pag. 118.)

---

[36] În această direcție, se merge uneori destul de departe, presupunîndu-se că interpretarea dată mecanicii cuantice pe baza principiului complementarității ar conține, drept concluzii, situări filosofice constitutive gîndirii lui Bohr încă din prima tinerețe, înainte de formarea lui ca fizician teoretician. Se relatează că la scurt timp după apariția mecanicii cuantice, cînd Bohr i-a vorbit vechiului său prieten, psihologul E. Zubin, despre lecția filosofică fundamentală ce se degajă din noua teorie, acesta i-ar fi răspuns : „Da, este foarte interesant, dar trebuie să admiți că ai spus același lucru acum douăzeci de ani.“ (Vezi A. Petersen /1/, pag. 9.)

---

[37] Pentru formulări asemănătoare din lucrări ulterioare ale lui Heisenberg și un comentariu mai larg, vezi și H. Vogel /1/, pag. 34—40 și 51—52. Subliniind că nu putem vorbi de comportarea unei particule independent de dispozitivele de observație folosite, Heisenberg formula semnificația filosofică generală a acestei situații noi astfel: „Aceasta are, în cele din urmă, drept consecință că legile naturii, pe care le formulăm matematic în teoria cuantelor, nu ne mai spun ceva despre comportarea particulelor elementare, ci despre cunoștințele noastre asupra particulelor elementare." (W. Heisenberg /3/, pag. 12.)

Totodată, el a apreciat drept improprii, susceptibile să inducă în eroare, expresii de tipul „perturbarea fenomenelor prin observare“ sau „crearea de atribute fizice la obiectele atomice prin măsurători“, expresii care puteau fi întîlnite în mod curent în expunerile teoriei cuantelor. Dată fiind folosirea acestor expresii în limbajul comun, Bohr socotea că ele ar putea sugera contestarea obiectivității lumii atomice, în sensul independenței ei de observator, considerat drept subiect al cunoașterii. De aceea ar fi mai potrivit ca în mecanica cuantică termeni ca „fenomen“ sau „obiect al cercetării“ să fie utilizați pentru a desemna întregul constituit din obiectele atomice și dispozitivele experimentale, și nu obiectele atomice considerate izolat, în afara interacțiunii lor fizice cu aceste dispozitive. (Vezi, de exemplu, N. Bohr /6/, pag. 377—378, N. Bohr /7/, pag. 85 și N. Bohr /10/, pag. 313.) În măsura în care Heisenberg și, îndeosebi, Bohr s-au distanțat destul de clar de interpretările subiectiviste ale relațiilor de imprecizîune și ale principiului complementarității, ne putem întreba ce sens ar mai putea primi referirile lor frecvente la problema gnoseologică tradițională a raportului dintre subiect și obiect. Răspunsul, de cele mai multe ori sugerat în lucrările lor, este că o controversă filosofică tradițională cum este cea dintre realismul și subiectivismul gnoseologic poate oferi analogii cu valoare euristică pentru înțelegerea și formularea mai adecvată a relației dintre aparatele de măsurare și obiectele atomice în fizica cuantică [38]. O viziune dialectică, de orientare subiectivistă, cum este „dialectica calitativă“ a lui Kierkegaard, care sublinia caracterul arbitrar al delimitării dintre subiect și obiect, ar fi putut deci acționa ca un ferment activ în geneza interpretării, fără să se regăsească în conținutul ei, tot așa cum un punct de vedere operaționalist asupra cunoașterii fizice a putut stimula, cum recunoștea chiar Einstein, elaborarea teoriei restrînse a relativității, fără să lase, pînă la urmă, vreo urmă în conținutul fizic al teoriei și deci în semnificația ei filosofică obiectivă. Ne gîndim desigur la schelele care sînt ridicate, odată ce construcția clădirii a fost încheiată.

---

[38] Heisenberg afirmă că în fizica atomică „se pot trage foloase din discuțiile despre greutățile de împărțire a lumii în subiect și obiect, fundamentale pentru întreaga teorie a cunoașterii“. (Vezi W. Heisenberg /1/, pag. 60.) La rîndul său, A. Petersen (/2/, pag. 242), care a fost mulți ani asistentul lui Bohr, semnalează „analogia remarcabilă“ pe care o vedea acesta între relația subiect-obiect, care este nucleul problematicii epistemologice, și distincția instrument de observație-sistem fizic.

Cît privește influența pragmatismului lui Høffding și James asupra gîndirii lui Bohr ca filosof al fizicii, se impun de asemenea unele delimitări, disocieri și rezerve. Se poate admite, cum sublinia M. Jammer /1/, că analiza făcută de James noțiunii de observație în psihologie a jucat rolul unei analogii fertile în elaborarea principiului complementarității, îndeosebi în măsura în care sugera dependența observației de punctul de vedere al observatorului și deci a elementelor ce sînt incluse în sistemul supus observației[39]. În nici un caz Bohr nu a preluat însă pur și simplu concepția pragmatistă și nu a propus o versiune proprie, relativ de sine stătătoare a concepției pragmatiste asupra cunoașterii, pe baza experienței dezvoltării fizicii moderne. Influența ideilor pragmatiste asupra gîndirii lui Bohr s-a cristalizat mai curînd printr-o situare specifică față de problematica epistemologică, o situare care ar putea fi caracterizată drept *pragmatică* și nu *pragmatistă*. Bohr socotea că pentru fizicianul teoretician modern problemele epistemologice cu adevărat importante, vitale, sînt cele privitoare la formarea și modificarea conceptelor fundamentale care intervin în descrierea fizică și ale mijloacelor de expresie lingvistică corespunzătoare, problema adaptării conceptelor și a limbajului nostru la experiențe fundamental noi[40]. Reflecții epistemologice ca cele ale lui Høffding despre posibilitățile limitate de cuprindere ale oricărui sistem de concepte (realitatea pe care o putem exprima în anumite forme de gîndire, într-un anumit limbaj este numai o parte a întregului — vezi M. Jammer /1/, pag. 174) au creat la Bohr un fundal filosofic care a influențat negreșit unele din reacțiile sale la situația conceptuală din fizică. Se pare că Bohr a abordat problematica conceptuală a mecanicii cuantice în cadrul unei analize filosofice a cunoașterii fizice care consideră exclusiv problema raportului teoriei cu experiența fizică [41], evitînd în mod deliberat problematica „metafizică" a raportului teoriei cu realitatea fizică [42]. Asemenea rezerve, precum și detașarea subliniată față de o înțelegere naivă, simplistă a raportului cunoașterii fizice cu realitatea fizică [43], care exprimă, desigur într-un anumit fel, influența pe care au exercitat-o pragmatismul și alte orientări subiectiviste în epistemologie asupra modului cum discuta Bohr problemele filosofice, nu sînt însă interpretate corect dacă sînt înțelese ca o respingere *de plano* a realismului epistemologic. Căci Bohr nu neagă nici obiectivitatea fenomenelor atomice, nici faptul că fizica cuantică își propune descrierea și expli-

---

[39] Bohr însuși a atras atenția de mai multe ori asupra acestei analogii. El spunea că există un contrast aparent între fluxul continuu al gîndirii asociative și păstrarea unității personalității care prezintă o analogie sugestivă cu relația dintre descrierea ondulatorie a mișcării particulelor și individualitatea lor indestructibilă. S-ar putea ca și termenul de *complementaritate* să fi atras atenția lui Bohr în scrierile lui James, unde este utilizat pentru a caracteriza relația de excludere reciprocă în care totalitatea conștiinței posibile poate fi despicată în părți care coexistă dar se ignoră reciproc și distribuie între ele obiectele cunoașterii, relație tipică pentru anumite boli psihice.

[40] După A. Petersen (/1/, pag. 10), „doctrina că noi sîntem, filosofic vorbind, suspendați în limbaj, că depindem în ceea ce privește nevoile unei comunicări clare de cadrul nostru con-

---

ceptual, și că limitele cadrului pot fi extinse prin generalizare, în modul ilustrat de matematică, formează baza generală a filosofiei lui Bohr".

[41] „Știința are ca misiune să crească și să coordoneze cunoștințele noastre experimentale ... Pe măsura creșterii cunoștințelor noastre experimentale, trebuie să ne așteptăm la modificarea ideilor directoare care sînt cele mai potrivite pentru coordonarea lor." (N. Bohr /4/, pag. 1.)

[42] A. Petersen /1/ afirmă că Bohr nu discuta niciodată problema relațiilor conceptelor cu realitatea fizică; el se interesa, în schimb, de condițiile conceptualizării și comunicării noilor experiențe: problema lui era cea a adecvării acestor concepte pentru a exprima experiențe fizice determinate.

[43] Referindu-se la semnificația complementarității descrierii fenomenelor în mecanica cuantică, Bohr făcea, de exemplu, următoarea observație: „Reîntîlnim aici, într-o formă nouă, acest adevăr vechi că descriind fenomenele noi nu pretindem să explicăm esența lor proprie, ci ne sforțăm, pur și simplu, să discernem cît mai multe relații posibile în multiplicitatea datelor experienței". (N. Bohr /4/, pag. 16.) Asemenea formulări destul de ambigue, care revin în scrierile lui Bohr, au fost considerate, de multe ori, de către adversarii săi filosofici, drept expresii ale unei concepții subiectiviste, pozitiviste asupra cunoașterii fizice.

carea lor. Mai mult, în variatele formulări pe care le-a dat principiului corespondenței, Bohr a caracterizat conceptele clasice ca „aproximații“, „abstracții“ sau „idealizări“ care nu pot exprima în mod satisfăcător realitățile lumii atomice, lăsînd să se înțeleagă sau spunînd explicit că mecanica cuantică reprezintă o etapă nouă în aprofundarea cunoștințelor noastre asupra naturii fizice.

În ceea ce-l privește pe Heisenberg, în scrierile lui de tinerețe găsim indicii clare ale influenței filosofiei pozitiviste a științei, în special a principiului verificaționist al semnificației expresiilor (conceptelor), care era prezentat de către empirismul logic timpuriu ca principala lecție epistemologică ce poate fi desprinsă din definiția operațională dată de Einstein conceptelor de simultaneitate, spațiu și timp. Mulți istorici ai mecanicii cuantice (vezi Jammer /1/, pag. 324—325) subliniază că Heisenberg a fost condus spre descoperirea relațiilor de imprecíziune de comparația pe care a făcut-o între situația noii mecanici cuantice în anii 1925—1926 cu situația ce se crease în electrodinamică la începutul secolului, datorită încercării de a combina formalismul lui Lorentz cu conceptele clasice de spațiu și timp. Einstein a depășit această situație, după cum se știe, printr-o redefinire pe baze operaționale a conceptelor fundamentale, iar Heisenberg a luat această abordare drept model. Celebrul său experiment mintal pentru determinarea poziției electronilor a avut un rol metodologic asemănător cu cel al definiției einsteiniene a simultaneității. Interpretarea mecanicii cuantice, propusă de Heisenberg în cunoscutul său articol din 1927, nu se întemeiază pe o concepție subiectivistă asupra cunoașterii fizice, cum s-a afirmat de multe ori[44]. Nu se poate totuși contesta că Heisenberg era înclinat atunci să dea o interpretare operaționalistă noii teorii, în spiritul ideilor pozitiviste atît de influente în epocă. De exemplu, în încheierea articolului, Heisenberg justifică poziția sa negativă față de punctul de vedere al acelor fizicieni care continuau să creadă că în spatele legilor statistice ale noii teorii stă un univers fizic real, dominat de un determinism strict, de tip laplacean, în felul următor : „Asemenea speculații ni se par — și aceasta o subliniem în mod deosebit — nefertile și lipsite de sens. Căci fizica trebuie să se limiteze la descrierea fenomenelor, a relațiilor dintre percepții.“ Referirea la „lipsa de sens“ a ipotezelor cu parametri ascunși pare a fi inspirată de versiunea operaționalistă a teoriei verificaționiste a semnificației, iar remarca finală despre țelul cunoașterii fizice exprimă clar influența filosofiei pozitiviste a științei.

---

[44] Unii istorici consideră că au dovedit aceasta citînd pur și simplu, în afara contextului, o frază, este adevărat fundamentală, din acest articol : *„Die 'Bahn' ensteht erst dadurch dass wir sie beobachten“* (Traiectoria ia naștere abia prin aceea că o observăm.) Pentru cititorul competent și nepărtinitor este însă clar că Heisenberg se referă aici la interacțiunea fizică dintre obiectul observației și dispozitivele fizice utilizate în actul observației. Interacțiunea fizică dintre electron și foton face ca determinarea pozițiilor succesive ale unui electron, și deci a traiectoriei mișcării sale, să aibă un caracter probabilistic ireductibil. Fiecare act de observație, deci fiecare nouă interacțiune, creează o situație fizică nouă (reducerea pachetului de unde).

Dincolo de asemenea evaluări pronunțat ipotetice ale pozițiilor filosofice generale ale lui Bohr și Heisenberg, și ale rolului pe care ar fi putut să-l aibă ele în elaborarea interpretării standard a mecanicii cuantice, problema esențială este, cum spuneam mai sus, cea a substanței filosofice propriu-zise a acestei interpretări. Acceptînd, nu numai de dragul argumentului, că cel puțin în unele din expunerile cu circulație pe care le-au dat Bohr sau Heisenberg acestei interpretări, pot fi găsite formulări ce sugerează un punct de vedere filosofic subiectivist, pragmatist sau pozitivist, se pune întrebarea dacă fondul principal al acestei interpretări ar fi în vreun fel afectat prin eliminarea unor asemenea formulări. La această întrebare se poate da un răspuns negativ lipsit de orice echivoc. Un asemenea răspuns pornește, în primul rînd, de la existența unor expuneri ale interpretării standard care sînt libere de orice aderențe filosofice subiectiviste. Mă voi referi aici doar la prezentarea principiului complementarității și a relațiilor de imprecíziune în lucrările unor teoreticieni de talia lui P. A. M. Dirac, W. Pauli și V. A. Fok. Apărarea interpretării standard în lucrările celui din urmă atrage în primul rînd atenția fiindcă Fok a afirmat clar un punct de vedere filosofic general materialist-dialectic. Poziția lui este deci cu deosebire importantă pentru evaluarea repetatelor încercări de a critica și de a respinge interpretarea standard a mecanicii cuantice pe temeiul incompatibilității ei cu principiile generale ale filosofiei materialismului dialectic.

În prima ediție a lucrării sale devenită clasică, *Principiile mecanicii cuantice*, care apare în 1930, într-o perioadă în care opinia că interpretarea fizică a mecanicii cuantice conduce în mod necesar la o concepție subiectivistă a cunoașterii, pusă în circulație de fizicieni teoreticieni de orientare pozitivistă ca P. Jordan și de unii filosofi ai științei, era foarte răspîndită, Dirac reia ideile de bază ale interpretării standard : noile date experimentale ne constrîng să ne abatem de la cerințele clasice ale descrierii fizice a fenomenelor ; conținutul fizic al teoriei nu poate fi exprimat în mod adecvat în termenii limbajului comun și prin imagini familiare ; probabilitățile intervin în mod ireductibil în fizica cuantică datorită faptului că interacțiunea dintre obiectul observației și dispozitivele experimentale nu mai poate fi neglijată[45]. Totodată, textul lui Dirac, îndeosebi prefața și primul paragraf din capitolul I intitulat *Necesitatea mecanicii cuantice*, nu lasă nici o îndoială cu privire la faptul că punctul său de vedere epistemologic general nu are nimic comun cu pozitivismul și cu subiectivismul filosofic. Teoria cuantică este văzută ca o descriere structurală, neintuitivă a unui nivel mai profund al realității fizice. Ea utilizează o matematică a transformărilor în care „lucrurile importante în lume apar drept invarianți ai acestor transformări". (Vezi P. M. A. Dirac, pag. VII.) Deosebit de semnificativă este și poziția lui W. Pauli, omul care prin influența pe care a exercitat-o asupra lui Bohr și Heisenberg poate fi socotit, fără exagerare, coautor al interpretării de la Copenhaga. Expunerea pe care a dat-o Pauli cu diferite ocazii interpretării standard arată clar că aceasta, departe de a implica o concepție filosofică subiectivistă asupra cunoașterii, se raportează la o asemenea concepție ca la ceva cu totul exterior și străin. Imposibilitatea de a formula predicții stricte, în sensul clasic al termenului, asupra caracteristicilor de stare ale sistemelor atomice individuale este caracterizată de Pauli drept o consecință necesară a „influenței sistemelor de măsurare asupra sistemului fizic observat". (Vezi W. Pauli /1/, pag. 308.) Dacă fizicienii atașați idealurilor clasice se opun interpretării de la Copenhaga aceasta nu se întîmplă fiindcă ea ar marca o cotitură spre o concepție subiectivistă în fizică, ci se datorează exclusiv incapacității lor de a înțelege și accepta încorporarea dispozitivelor experimentale în fenomenul supus observației. Tocmai această încorporare creează specificul noii situații de cunoaștere, caracterizată „prin elemente de indivizibilitate și totalitate, străine fizicii clasice". (Vezi W. Pauli /4/, pag. 43.) Dacă predicțiile asupra rezultatelor observațiilor nu pot fi, principial vorbind, decît probabilistice, complementaritatea ne va apărea ca o generalizare a conceptului fizic clasic de cauzalitate. Caracterul ireductibil al intervenției probabilităților în descrierea fizică a sistemelor cuantice nu aduce însă nici o atingere valorii obiective a acestei descrieri, independenței conținutului ei de fizicianul experimentator. „Trăsături subiective sau psihice nu intră în descrierea cuantică a naturii." (W. Pauli /4/, pag. 44.) Utilizarea fără contradicție a conceptelor clasice în descrierea obiectelor atomice nu cere cîtuși de puțin sacrificarea principiului cauzalității și a ideii realității fizice, în sensul filosofic general al termenilor, ci doar a „idealurilor tradiționale despre cauzalitate și realitate în natură". Fizicianul teoretician nu are motive pentru a aprecia o asemenea renunțare ca inacceptabilă, din moment ce noua teorie permite derivarea situațiilor în care este posibilă o aplicare fără restricții a conceptelor clasice drept „situații limită". (Vezi W. Pauli /4/, pag. 45.) În sfîrșit, V. A. Fok a susținut cu consecvență ideile de bază ale interpretării standard, chiar în vremea cînd ele erau apreciate nu numai de filosofi ci și de cunoscuți fizicieni teoreticieni, din Uniunea Sovietică și din alte țări socialiste, drept expresia cea mai virulentă a subiectivismului în știință. Fok observa că o asemenea concluzie vădește neînțelegerea conținutului interpretării standard, iar încercările de a o argumenta pornesc, de cele mai multe ori, de la o confundare nepermisă a pozițiilor filosofice cu probleme de ordin terminologic. Dacă Bohr a favorizat într-un fel tendințele de a califica interpretarea pe care a dat-o mecanicii cuantice ca solidară cu o concepție pozitivistă, subiectivistă asupra cunoașterii fizice, el a făcut-o, în cele din urmă, doar prin utilizarea unei terminologii puţin fericite, care a înlesnit o înţelegere greşită a ideilor sale, îndeosebi din partea autorilor deprinşi cu terminologia materialismului dialectic. (Vezi V. A. Fok /1/, pag. 97—98.) Ideea relativităţii microobiectelor în raport cu mijloacele de observaţie, idee ce constituie nucleul interpretării elaborate de Bohr şi Heisenberg, nu pune la îndoială şi nu înlătură în nici un fel principiile filosofice generale ale determinismului şi ale existenţei obiective a realităţii fizice. Proprietăţile obiectelor se manifestă întotdeauna în interacţiunea lor cu alte obiecte, în particular cu aparatele de observaţie. Dar dacă în cazul obiectelor macroscopice efectele fizice ale acţiunii aparatului asupra obiectului observaţiei sînt minime şi pot fi practic neglijate, ceea ce înseamnă că în descrierea fizică clasică se face abstracţie de natura mijloacelor de observaţie utilizate, în cazul microobiectelor situaţia se schimbă în mod esenţial. (Vezi V. A. Fok /1/, pag. 99—100.) Microobiectul nu mai poate fi descris în afara interacţiunii cu dispozitivele experimentale, ceea ce atrage după sine necesitatea de a introduce modificări în condiţiile normative ce definesc conceptul clasic al descrierii fizice[46]. Interacţiunea obiectelor atomice cu aparatele fizice face ca descrierea caracteristicilor de stare ale celor dintîi să aibă un caracter probabilist ireductibil[47]. „În fizica cuantică, noţiunea de probabilitate este o noţiune primară şi ea joacă un rol fundamental. De ea este legată şi noţiunea cuantic-mecanică de stare a obiectului." (V. A. Fok /1/, pag. 104.) Departe de a avea o valabilitate universală, absolută, conceptul curent al descrierii fizice, care este luat ca ceva de la sine înţeles în fizica clasică, nu reprezintă decît o idealizare ce poate fi aplicată cu succes doar în limite şi în condiţii determinate. Dacă sînt corect înţelese, acceptarea principiului indivizibilității obiectelor atomice și a dispozitivelor de observație, precum și recunoașterea caracterului primar, ireductibil al descrierii probabilistice a stării cuantice, considerate de Fok drept elementele fundamentale ale interpretării standard, nu pot să intre în contradicție nici cu recunoașterea caracterului legic, determinat al stărilor cuantice, nici cu existența lor obiectivă, independentă de subiect. Fok a apreciat, prin urmare, că ideile de bază ale interpretării lui Bohr, cu anumite „precizări" și „corectări"[48], sînt în deplin acord cu principiile de bază ale materialismului dialectic, respingînd uneori frontal, dar de cele mai multe ori implicit, criticile formulate în literatura filosofică sovietică și din alte țări, în deceniile șase și șapte, la adresa principiului complementarității[49].

---

[45] „Există o indeterminare de neînlăturat în calcularea rezultatelor experimentale, teoria permițîndu-ne, în general, să calculăm doar probabilitatea de a obține un rezultat determinat cînd facem o observație." (P.M.A. Dirac, pag. 4.)

---

[46] „Expresia cea mai completă a rezultatelor unei serii de măsurători nu este valoarea exactă a mărimii măsurate, ci distribuţia probabilităţilor ei". (V. A. Fok /1/, pag. 103—104.)

[47] Considerînd ca obiect al descrierii fizice interacţiunea obiectelor atomice cu dispozitivele de observaţie, introducem de fapt „conceptul de *relativitate în raport cu mijloacele de observaţie*, care generalizează conceptul bine cunoscut de relativitate în raport cu sistemul de referinţă". (Vezi V. A. Fok /2/, pag. 234.)

Creatorii interpretării standard a mecanicii cuantice atrăgeau atenția, ori de cîte ori li se oferea prilejul, că această interpretare nu poate fi calificată drept ilustrarea, aplicarea sau confirmarea, în domeniul mai special al cunoașterii fizice, ale unui punct de vedere filosofic general elaborat în prealabil, ale unuia din curentele de gîndire sau concepțiile cu circulație, elaborate în cadrul filosofiei „tradiționale". Astfel, Heisenberg scria, considerînd retrospectiv dezvoltarea interpretării mecanicii cuantice: „Ceea ce s-a născut în 1927 la Copenhaga era nu numai o prescripție univocă pentru interpretarea experimentelor, dar și o limbă în care s-a vorbit despre natură în domeniul atomic și, într-atît, o parte a filosofiei. Într-adevăr, felul în care a gîndit Bohr din 1912 asupra fenomenelor atomice a fost întotdeauna ceva intermediar între fizică și filosofie și numai prin corelarea problemelor principiale cu aspectele practice ale experimentului i-a reușit ordonarea teoretică a sistemului periodic al elementelor. Noua interpretare a teoriei cuantice s-a constituit de asemenea în limba filosofică cu care l-au obișnuit raporturile cu atomii timp de cincisprezece ani, și care părea cea mai adecvată acestor probleme. Dar nu era limba unei direcții filosofice tradiționale : pozitivism, materialism, idealism; ea era, în substanța ei, altfel, cu toate că conținea elemente ale tuturor acestor sisteme de gîndire." (W. Heisenberg /4/, pag. 416.) W. Pauli nota și el, cu referire critică la încercările de a căuta în interpretarea teoriei cuantelor argumente în favoarea uneia sau alteia din concepțiile filosofice fundamentale : „Pentru clarificarea filosofilor, doresc să remarc de asemenea că eu însumi nu aparțin unei orientări filosofice determinate, care poartă un nume ce se termină cu particula *ism*. Dincolo de aceasta, sînt împotriva subordonării unor teorii fizice speciale, ca, de pildă, teoria relativității și mecanica cuantică sau ondulatorie unor asemenea orientări, deși aceasta se face uneori de către fizicieni." (W. Pauli /2/, pag. 36.) Potrivit relatărilor lui L. Rosenfeld, un colaborator foarte apropiat al lui Bohr, acesta din urmă, deși a dedicat, îndeosebi în tinerețe, destul timp filosofiei și urmărea viața filosofică, a refuzat întotdeauna să-și exprime aderența la una sau alta din marile tendințe ale gîndirii filosofice. (Vezi H. P. Stapp, pag. 1115.) Evident, membrii „școlii de la Copenhaga" nu doreau să lege interpretarea pe care au dat-o mecanicii cuantice de un anumit curent filosofic ; ei nu contestau, totodată, substanța filosofică a acestei interpretări[50]. Cum ar trebui atunci să fie înțeles avertismentul lor ?

---

[48] Principala „corectare" constă în sublinierea că pe baza funcției de undă putem să caracterizăm proprietăți obiective ale particulelor elementare, ca sarcină, masă, spin; totodată, măsurătorile nu ne permit să determinăm decît acele proprietăți ale microobiectelor (de exemplu, cele ondulatorii sau corpusculare) care se manifestă în raportul cu un aparat de o structură dată. (Vezi V. A. Fok /1/, pag. 96—97 și V. A. Fok /2/, pag. 233.)

[49] Fizicienii și filosofii care respingeau interpretarea standard a mecanicii cuantice drept inacceptabilă din punct de vedere filosofic (de cele mai multe ori sub influența ideilor lui Einstein, de Broglie sau D. Bohm) înțelegeau, în general, foarte bine că Fok apără și dezvoltă, în esență, această interpretare. (Vezi, de exemplu, I. P. Terlețki, îndeosebi pag. 115—118.)

Evident, ei credeau, mai întîi, că filosofia unei științe trebuie să fie făcută în primul rînd de oamenii de știință. Sensul filosofic al unei revoluții științifice nu poate fi pus în evidență decît prin raportare la o situație problematică bine determinată ce survine în evoluția cunoașterii științifice. Numai cercetătorul creator este în măsură să o înțeleagă în mod satisfăcător și să-i discute competent aspectele conceptuale. Pe de altă parte, reticența pe care o manifestau în ceea ce privește corelarea propriei lor filosofii a mecanicii cuantice cu o anumită poziție din tradiția filosofică exprimă, cred, temerea că o asemenea corelare ar putea contribui la dogmatizarea acestei filosofii. Temere pe care cu greu am putea-o socoti neîntemeiată în lumina experiențelor istorice de pînă acum. În sfîrșit, și lucrul acesta mi se pare cel mai important, ei își dădeau foarte bine seama că filosofia generală și filosofia fizicii moderne nu se situează pe același plan. Semnificația unei restructurări profunde a gîndirii științifice nu poate fi exprimată satisfăcător spunînd că ea confirmă pur și simplu un punct de vedere filosofic preexistent, punct de vedere care s-a constituit și s-a dezvoltat ca răspuns la probleme foarte diferite de cele pe care le-au pus ultimele evoluții ale gîndirii științifice[51]. Este desigur nu numai posibil ci și recomandabil, atît pentru revitalizarea gîndirii filosofice, cît și pentru orientarea cunoașterii științifice, să confruntăm concluziile generale ce decurg din interpretarea unei teorii științifice atît de fundamentale, cum este mecanica cuantică, cu marile filosofii, cu cele mai reprezentative poziții ontologice și epistemologice. Semnificația unor asemenea confruntări a fost însă adesea sărăcită și chiar compromisă de tendința deplorabilă a reprezentanților „filosofiei profesorale“ *(Schulphilosophie)*, inclusiv a celor care rămîn inconștient prizonierii acestei tradiții, de a reduce bilanțul lor la constatarea compatibilității sau a incompatibilității concluziilor ce decurg din anumite prefaceri științifice revoluționare cu tezele unor filosofii constituite. Ceea ce aflăm pînă la urmă, ca rezultat al unor asemenea „raportări“, este că noile idei științifice ar „confirma“ sau „infirma“ principiile unei anumite filosofii. (Presupunînd, desigur, că termenii

---

[50] Citind lucrările de filosofia științei ale specialiștilor contemporani ai domeniului, omul de știință este impresionat nefavorabil de faptul că aici nu sînt ridicate problemele cele mai noi și mai interesante pe care le pune progresul cercetării în domeniul său de specialitate. Pe de altă parte, marii creatori de știință, care își pun acut problema semnificației noilor descoperiri pentru „tabloul fizic al lumii", sînt mai mult sau mai puțin conștienți că prin distanțarea lor față de filosofia profesorală *(Fachphilosophie)* ei nu s-au eliberat, în general, de filosofie. (Vezi C. Fr. von Weizsäcker /2/, pag. 42.)

---

[51] Așa trebuie înțeleasă, cred, și exprimarea lui Heisenberg (vezi H. P. Stapp, pag. 1114) că interpretarea de la Copenhaga a mecanicii cuantice nu este o concepție generală despre lume. Această exprimare sugerează poate și o detașare față de unele încercări ale lui Bohr de a da o semnificație filosofică generală, dincolo de domeniul fizicii teoretice, principiului complementarității.

confirmare și *infirmare*, care au în perimetrul științei exacte un sens logic foarte puternic, pot fi aplicați într-un sens mai slab pentru caracterizarea relațiilor logice dintre concluziile interpretării unei teorii științifice fundamentale și aserțiuni filosofice foarte generale.) Putem să înțelegem deci preocuparea unor fizicieni creatori de talia lui Bohr și Heisenberg pentru prevenirea și descurajarea unui asemenea mod de raportare a filosofiei fizicii, în particular a substanței filosofice a interpretării pe care au dat-o mecanicii cuantice, la marile curente și tendințe ale gîndirii filosofice. Aceste preocupări sînt înțelese cu totul greșit dacă se presupune că ele ar viza afirmarea neutralității filosofice a acestei interpretări. Interpretarea standard a mecanicii cuantice conține incontestabil o „filosofie“, implică, cu alte cuvinte, o luare de poziție în probleme filosofice cu caracter fundamental. Este însă vorba mai ales de presupoziții filosofice care au fost pînă astăzi insuficient și incomplet explicitate. Și aceasta, în ciuda faptului că Bohr a fost preocupat, încă din deceniul al treilea, în primul rînd de filosofia mecanicii cuantice și că Heisenberg s-a consacrat tot mai mult acestor preocupări în a doua parte a vieții sale. Eforturile lor s-au concentrat însă, în mod inevitabil, asupra clarificării, precizării și dezvoltării interpretării pe care au elaborat-o și asupra criticii unor încercări de a elabora interpretări alternative. O abordare istorico-filosofică a acestei problematici trebuie să ducă cu un pas mai departe dezvăluirea supozițiilor filosofice ale interpretării standard, pornind, în principal, de la examinarea reacțiilor ce s-au produs față de această interpretare și a controverselor pe care le-a suscitat.

Interludiu filozofic

> „Credințele noastre tari, intime sînt un fel de cristale, care cresc într-o soluție saturată de 'logică', de 'argumente'... Nu-i de mirare deci cu cît cristalele se dezvoltă mai tare, cu atît se împuținează 'soluția' logică, cu atît căutăm mai zadarnic 'argumentele'."
>
> *L. BLAGA (1919)*

Începînd chiar din anul 1927, cînd Heisenberg a descoperit relațiile de imprecíziune iar Bohr a prezentat interpretarea mecanicii cuantice bazată pe principiul corespondenței, la Congresul Volta de la Como și la Conferința Solvay de la Bruxelles, fundamentele mecanicii cuantice au devenit obiect de discuție și de controversă între cîțiva dintre cei mai mari fizicieni teoreticieni ai vremii. Marea majoritate a specialiștilor a acceptat, ce-i drept, interpretarea propusă de Bohr și Heisenberg, care a devenit astfel interpretarea standard, și s-au concentrat asupra dezvoltării mecanicii cuantice, a aplicării ei în noi domenii. Opoziția activă față de înțelegerea curentă a fizicii cuantelor era reprezentată însă de nume ca Einstein, Schrödinger, și mai tîrziu de Broglie, care au adus contribuții de mare importanță la dezvoltarea ei. (Planck, care era și el în opoziție, a avut o atitudine mai rezervată.) Cei mai mulți dintre cercetătorii din noua generație nu manifestau, este adevărat, un interes deosebit pentru asemenea discuții. Ei erau înclinați în mod spontan spre interpretarea standard, în măsura în care aceasta părea să asigure stabilitatea fundamentelor noii teorii și le permitea să se concentreze asupra unor probleme tehnice, a căror soluționare era în măsură să confere recunoaștere științifică și prestigiu profesional. Cei nemulțumiți de situația conceptuală în fizica teoretică stînjeneau nu numai fiindcă tulburau „liniștea" și „ordinea", ci și fiindcă încercau să trezească scrupulele și îndoielile latente, pe care le genera discrepanța dintre criteriile curente de inteligibilitate și cele cuprinse, mai mult tacit, în interpretarea acceptată a noii fizici atomice. De aici tendința oarecum spontană a celor care au deprins de la început noile idei sau se obișnuiseră deja cu ele de a nu asculta vocile critice și de a-și vedea de treabă.

Discuțiile asupra fundamentelor mecanicii cuantice au atras doar un cerc relativ îngust de fizicieni teoreticieni cu preocupări largi, a căror înclinație spre probleme de ordin conceptual, cu încărcătură filosofică, îi plasa oarecum la antipodul atitudinii pragmatice a cercetătorului obișnuit[1]. În ciuda caracterului lor dramatic, aceste discuții nu au influențat, prin urmare, prea mult tendința generală de dezvoltare a cercetărilor teoretice. Ele prezintă însă un interes aparte din punct de vedere istorico-filosofic. Și nu este prea greu de înțeles de ce.

În viața științifică curentă, divergențele dintre cercetători și controversele, care privesc de multe ori probleme de interes central, sînt la ordinea zilei. Fiecare parte speră, în mod legitim, să-și convingă oponenții sau să înțeleagă unde a greșit. Este adevărat că lucrurile nu evoluează întotdeauna potrivit acestor așteptări. Se întîmplă ca persoanele sau grupurile care se confruntă să rămînă, în cele din urmă, la punctul lor de vedere inițial. Există însă de obicei o explicație simplă pentru un asemenea deznodămînt nedorit al unei dispute științifice. Presupunînd că fiecare din părțile în litigiu este competentă și a înțeles satisfăcător punctul de vedere al celeilalte, dezacordul final va putea fi pus pe seama pasiunilor și slăbiciunilor omenești. Pentru arbitrarea disputei va putea fi găsit întotdeauna un juriu științific nu numai competent dar și imparțial. Acesta va putea stabili, orientîndu-se după criterii și valori acceptate ca neproblematice, cine are dreptate și cine a greșit. Și odată ce s-a stabilit că una din părți nu a fost la înălțime din punctul de vedere al unor exigențe general acceptate de profesionalitate, obiectivitate și probitate științifică, acest verdict va putea fi apreciat ca definitiv, irevocabil. Iată însă că discuțiile asupra interpretării mecanicii cuantice, de exemplu, marea dispută dintre Einstein și Bohr, sau cea dintre Einstein și prietenul său apropiat Born, care s-au prelungit de-a lungul anilor, pînă la moartea lui Einstein, ies din aceste clișee. Nici competența, nici bunăcredința oponenților, în particular a celor aflați în minoritate, oameni ca Einstein, Schrödinger sau de Broglie, nu au fost puse vreodată în discuție. Controversa a fost susținută de cercetători de cel mai înalt rang, ale căror lipsă de prejudecăți, în sensul obișnuit al cuvîntului, și capacitate de a învăța din greșeli au fost adesea probate și erau recunoscute fără rezerve. Fiecare parte putea de aceea spera, în mod justificat, că anumite fapte și argumente demonstrative vor putea avea putere constrîngătoare. De ce nu au avut ele, în fapt, o asemenea putere ? S-ar părea că am putea evita, chiar ajunși la acest punct, confruntarea cu o problemă mai adîncă spunînd că una din părți nu a reușit să înțeleagă bine argumentele celeilalte. Acest fel de a explica lucrurile nu poate fi însă pînă la urmă acceptat. Se știe că încercările persistente, mereu reluate, de a clarifica punctele de vedere și argumentele nu au dus la o localizare destul de precisă a surselor dezacordului și, mai ales, că încercările de depășire a divergențelor, printr-o discuție bazată pe argumente, au eșuat în mod sistematic.

---

[1] Einstein, care a ilustrat poate cel mai bine acest tip, îi putea scrie încă în anul 1924 prietenului său din tinerețe, M. Solovine: „Am avut întotdeauna interes pentru filosofie, dar ea nu figura pentru mine decît pe planul secund. Interesul pentru știință era, în fond, limitat întotdeauna la studiul principiilor, ceea ce explică cel mai bine întreaga mea comportare. Faptul că am publicat atît de puțin ține de aceeași împrejurare, dat fiind că dorința arzătoare de a înțelege principiile a avut drept consecință că majoritatea timpului a fost consumată în eforturi infructuoase.“ (A. Einstein /10/, pag. 49.)

Singura presupunere plauzibilă rămîne aceea că atît comunicarea deplină cît și forța constrîngătoare a argumentelor sînt zădărnicite, în situații de acest fel, de presupoziții active, profunde și în bună măsură tacite, prin urmare, oarecum vagi, greu de precizat, care-i despart pe combatanți. Fiecare dintre părți le acordă în mod spontan o poziție privilegiată, în sensul că pornește de la ele fără să le supună de obicei examinării critice. Chiar posibilitatea unei asemenea examinări este, pînă la urmă, mai mult decît îndoielnică. Aceasta, pe de o parte, fiindcă ele constituie baza gîndirii științifice, ceea ce trebuie să acceptăm în prealabil pentru a putea considera în mod rațional și discuta critic idei și argumente științifice. În orice discuție critică intervin, ca premise, supoziții acceptate ca neproblematice[2]. Recunoașterea acestui fapt nu micșorează însă cîtuși de puţin rolul criticii raţionale în ştiinţă ; căci, ceea ce este acceptat provizoriu şi fără critică într-o anumită situaţie problematică, va deveni obiect de examen critic într-o altă situaţie. Există însă unele intuiţii primare care nu sînt supuse, în realitate, acestei condiţii presupuse a avea un caracter universal; ele sînt întotdeauna premise ale discuţiei şi nu obiect al discuţiei, cel puţin atît timp cît este vorba de discuţii între oameni de ştiinţă care poartă asupra unor probleme ştiinţifice, şi nu de discutarea unor probleme filosofice generale, fără raportare la un context ştiinţific bine determinat. Pe de altă parte, aceste intuiţii sînt prin natura lor greu de precizat, dacă ne raportăm la standardele curente de precizie din ştiinţele exacte. Nici o încercare de explicitare şi clarificare ale unor reprezentări latente cu privire la realitatea fizică, la natura cunoaşterii ştiinţifice sau la condiţiile care fac o idee sau o teorie inteligibilă şi ştiinţifică acceptabilă nu va fi socotită de cei care împărtăşesc aceste reprezentări drept cît de cît satisfăcătoare. Acceptînd că aşa stau lucrurile nu facem concesii unei forme, chiar atenuate, de iraţionalism, ci vom recunoaşte, pur şi simplu, o deosebire reală între componentele tehnice speciale şi componentele filosofice ale ştiinţei exacte[3]. Oamenii de ştiinţă cu înclinaţii filosofice sînt în mod deosebit interesaţi în asemenea clarificări, chiar dacă nu-şi fac mari iluzii în ceea ce priveşte caracterul mulţumitor al rezultatelor la care s-ar putea ajunge. Iar în măsura în care reuşesc să identifice sursele ultime ale unei mari controverse în supoziţii filosofice incompatibile, ei vor fi de acord să califice asemenea controverse ca ireductibile, de nedepăşit. De nedepăşit, nu numai într-un sens practic, în sensul că este puţin probabil ca un profesionist matur al ştiinţei să-şi schimbe radical convingerile filosofice fundamentale, în primul rînd idealurile explicative, ci şi în sensul că nu putem spera să identificăm un cadru comun, de un nivel superior de generalitate, care să permită examinarea critică a acestor convingeri.

---

[2] Un filosof contemporan al științei le compară sugestiv cu o nicovală folosită pentru a sparge obiecte (a critica ipoteze, teorii) cu ajutorul unui ciocan (datele experimentale).

---

[3] Heisenberg pune în gura lui Bohr următoarea reflecţie semnificativă, a cărei ironie vizează „purismul" unor filosofii pozitiviste ale ştiinţei : „Cu exigenţa de a năzui spre cea mai mare claritate a conceptelor pot desigur să mă declar de acord; dar interdicţia de a reflecta asupra problemelor celor mai generale, fiindcă acolo nu întîlnim concepte clare, în acest sens, este ceva care încă nu-mi intră în cap ; căci dacă respectăm o asemenea interdicţie nu mai putem înţelege nici mecanica cuantică." (W. Heisenberg /9/, pag. 283.)

Se poate spune că, pînă la urmă, filosofia omului de ştiinţă este expresia unui anumit mod de a înţelege experienţa istorică a dezvoltării cunoaşterii ştiinţifice, desigur a acelor domenii ale cunoaşterii care-i sînt mai familiare. Această filosofie este o schemă care poate fi adaptată întotdeauna într-un mod relativ satisfăcător celor mai semnificative evenimente ale trecutului. Iată de ce argumentele istorico-critice au puţine şanse să determine o schimbare fundamentală de perspectivă. Principial, doar noile evoluţii ale cunoaşterii ar putea să-i indice într-un mod convingător omului de ştiinţă caracterul neadecvat al intuiţiilor sale filosofice. Dar, pe durată scurtă, cea a unei vieţi de om, aceste evoluţii nu par de multe ori, nici atît de nete, nici atît de ireversibile cît ar trebui să fie pentru a justifica o restructurare profundă a bazelor gîndirii ştiinţifice. Cercetătorii pot lăsa, aşadar, cu inima împăcată, pe seama viitorului, arbitrarea divergenţelor lor filosofice [4].

---

[4] „În primăvara vieţii mele am fost obsedat de problema cuantelor şi a coexistenţei undelor şi corpusculilor în universul microfizic : am făcut eforturi decisive, dar totuşi incomplete, pentru a-i găsi soluţia. Astăzi, în toamna existenţei mele, aceeaşi problemă continuă să mă preocupe, deoarece, în ciuda atîtor succese obţinute, şi a drumului parcurs, nu cred că enigma a fost într-adevăr rezolvată. Viitorul, un viitor pe care fără îndoială nu-l voi vedea, va tranşa poate chestiunea : el va spune dacă punctul meu de vedere este eroarea unui om ajuns la o vîrstă destul de înaintată, care rămîne legat de ideile sale din tinereţe sau dacă, dimpotrivă, el exprimă clarviziunea unui cercetător care a reflectat în decursul întregii sale vieţi asupra problemei celei mai fundamentale a fizicii contemporane." (L. de Broglie /7/, pag. 31.)

Capitolul III

Reacţii conservatoare la interpretarea standard: poziţia lui Einstein şi Schrödinger

„La ce răspuns sîntem conduşi deci la întrebarea : poate fi considerată descrierea mecanic-cuantică a realităţii fizice drept completă ? Evident, această întrebare nu poate primi răspuns pe cale operaţională, prin indicarea de experimente şi măsurători. Răspunsul depinde mai degrabă de modul cum definim elementele realităţii fizice sau, într-o formulare mai generală, de modul cum considerăm realitatea fizică. Astfel, răspunsul pare să fie, în cele din urmă, o chestiune de concepţie."

N. ROSEN (1979)

„'Dumnezeu nu aruncă zarurile', acesta era un principiu care, pentru Einstein, era de neclintit, a cărui atingere nu o putea tolera. Bohr ar fi putut răspunde doar atît : 'Dar nu este menirea noastră să-i indicăm lui Dumnezeu cum să guverneze lumea'."

W. HEISENBERG (1969)

Einstein, un conservator în ştiinţă ? Sugestia cuprinsă în acest titlu ar putea să surprindă. Einstein a fost, după cum se ştie, creatorul unor teorii care au revoluţionat fundamentele fizicii [1]. El s-a referit adesea la semnificaţia generală a revoluţiilor în gîndirea fizică modernă, la ceea ce schimbă ele, atît în tabloul fizic al lumii, cît şi în imaginea noastră asupra cunoaşterii ştiinţifice. Contribuţiile cele mai importante pe care le-a adus în fizica teoretică pot fi considerate drept încoronarea unor eforturi eroice de a identifica și depăși critic obișnuințe de gîndire adînc înrădăcinate, și Einstein a fost conștient că acesta este un aspect esențial al celor mai creatoare inițiative ale gîndirii științifice. Marele fizician spunea că o premisă a unui succes științific deosebit este forța de caracter a cercetătorului, capacitatea lui de a se decide să abandoneze puncte de vedere și rezultate larg recunoscute, a căror elaborare a costat adesea mult timp și multă muncă. În evocarea pe care a scris-o cu ocazia morții lui Mach (1916), Einstein a dat, din această perspectivă, o caracterizare izbitoare a atitudinii dogmatice, și respectiv critice, în știința exactă. „Noțiuni care s-au dovedit utile în ordonarea lucrurilor — scria el — ajung cu ușurință să aibă asupra noastră o asemenea autoritate încît uităm de sursele lor pămîntești și le luăm ca date imuabile. Ele sînt prezentate ca 'necesități ale gîndirii' *(Denknotwendigkeiten)*, 'date *a priori*' ș.a.m.d. Calea cunoașterii științifice este barată adesea pentru mult timp de asemenea greșeli. Nu este de aceea un joc gratuit dacă sîntem exersați să analizăm conceptele de mult familiare și să arătăm de ce împrejurări depinde îndreptățirea și utilitatea lor, cum au luat naștere, în particular, din datele experienței. Prin aceasta va fi slăbită autoritatea lor excesivă. Ele vor fi înlăturate dacă nu vor putea fi justificate temeinic, dacă legătura lor cu lucrurile date se va dovedi prea laxă, vor fi înlocuite cu altele, dacă se poate formula un sistem nou, pe care îl preferăm din anumite motive. Noțiuni și sisteme de noțiuni își primesc justificarea prin faptul că servesc sintezei unui complex de experiențe ; o altă legitimare pentru ele nu există. Iată de ce una din faptele cele mai dăunătoare ale filosofilor (Einstein pare să-i aibă în vedere îndeosebi pe neokantieni — M.F.) este că au transferat anumite fundamente conceptuale ale științei naturii din domeniul accesibil controlului experienței în cel al înălțimii inaccesibile a necesităților de gîndire (a aprioricului)." (A. Einstein /2/, pag. 101.) Concluzia pe care o sugerează aceste reflecții privitoare la învățămintele ce pot fi desprinse din schimbări revoluționare ce au avut loc în cunoașterea fizică este că pînă și principiile și supozițiile fundamentale ale gîndirii științifice sînt supuse controlului experienței. O experiență științifică cu totul nouă poate să indice necesitatea abandonării sau revizuirii lor. Reacțiile lui Einstein față de rezistența conservatoare pe care a întîmpinat-o în deceniile doi și trei teoria relativității părea să se sprijine pe un asemenea crez filosofic. Nu trebuie să ne mire deci că, recent, un istoric al științei și-a putut intitula lucrarea, pe care a publicat-o cu prilejul centenarului nașterii marelui fizician, *Albert Einstein împotriva prejudecăților și obișnuințelor de gîndire* (vezi H. Melcher). Și totuși atitudinea lui Einstein față de interpretarea standard a mecanicii cuantice suscită îndoieli legitime privitoare la consecvența lui în raport cu un asemenea principiu metaștiințific.

---

[1] Cornelius Lanczos spunea : „Dacă cineva întreabă 'cine este cel mai mare fizician modern după Einstein ?', răspunsul va fi : tot Einstein ... dacă altcineva ar fi descoperit relativitatea, celelalte descoperiri ale lui l-ar face totuşi al doilea fizician al timpului său." (Citat după K. R. Popper /7/, pag. 35.)

În anul 1927, după primele formulări ale acestei interpretări, în cercurile înguste ale fizicienilor teoreticieni de elită circulau deja unele informații, bazate pe corespondență și convorbiri particulare, despre atitudinea sceptică, dacă nu categoric negativă, a lui Einstein față de noua teorie. Se știa că Einstein lucrează la elaborarea unei teorii generale a cîmpului, în măsură să permită deducerea efectelor cuantice fără să fie atinse în nici un fel principiile generale ale descrierii teoretice a fenomenelor fizice. Cu toate acestea, unii dintre creatorii teoriei interesați în mod deosebit în interpretarea ei fizică, și deci de implicațiile ei filosofice, în primul rînd Bohr și Heisenberg, mai considerau încă că această atitudine izvorăște dintr-o neînțelegere și continuau să spere că vor obține adeziunea lui Einstein, apreciat în mod unanim drept cea mai mare autoritate în fizica teoretică a vremii. Pe ce se întemeiau de fapt aceste speranțe ?

Bohr, de exemplu, merge destul de departe, presupunînd că Einstein nu ar fi fost străin de o înțelegere principial indeterministă[2] a teoriei cuantelor. El avea în vedere, între altele, faptul că Einstein afirmase încă într-un articol publicat în 1916 *(Despre teoria cuantică a radiației)* că tranzițiile atomilor de la o stare staționară la alta sînt guvernate de legi probabilistice, similare celor postulate în teoria radioactivității. Bohr credea că, în acest caz, probabilitatea nu mai exprimă pentru Einstein insuficienţa cunoaşterii noastre asupra caracteristicilor de stare ale obiectelor fizice la scară mică, ca în teoria cinetică a gazelor, ci caracterul realmente contingent al evenimentelor singulare[3]. Din convorbirile pe care le-a avut cu Einstein, cu ocazia unei vizite pe care a făcut-o la Berlin în 1920, Bohr a înţeles, este adevărat, că acesta aprecia drept suspectă orice teorie fizică ale cărei supoziţii de bază nu pot fi puse de acord cu reprezentările clasice asupra continuităţii şi cauzalităţii. (Vezi M. Jammer /2/, pag. 109.) Bohr aprecia însă drept fundamental şi, în ultimă instanţă, hotărîtor pentru determinarea poziţiei lui Einstein, punctul de vedere filosofic general, exprimat de exemplu în necrologul lui Mach, că trebuie să fim pregătiţi să revizuim toate ideile şi reprezentările noastre în lumina noilor date ale experienţei. El sublinia insistent analogia între soluţia einsteiniană a paradoxurilor electrodinamicii şi soluţia pe care o propune şcoala de la Copenhaga paradoxurilor teoriei cuantelor[4]. Impresia creatorilor teoriei cuantelor că există o apropiere profundă între filosofia implicată în interpretarea pe care o propuneau ei noii teorii şi filosofia care l-a condus pe **Einstein, ca cercetător al naturii, a fost** exprimată mult mai tîrziu de către Born în felul următor : ..El (Einstein — M.F.) a întemeiat teoria relativităţii pe principiul că noţiunile ce se referă la fapte inobservabile nu au loc în fizică ; un punct fix, într-un spaţiu gol (vid), este o asemenea noţiune, ca şi simultaneitatea absolută a două evenimente în locuri diferite ale spaţiului. Teoria cuantică s-a născut prin aplicarea acestui principiu, de către Heisenberg, la structura electronică la atomilor. Era o idee îndrăzneaţă, fundamentală, care mi-a deschis imediat ochii şi m-a făcut să-i consacru de atunci înainte toate forţele." (M. Born /6/, pag. 239.)

---

[2] În sensul pe care-l dădea Bohr acestui termen, *indeterminismul* fiind opus nu determinismului, într-un sens filosofic larg, ci determinismului rigid de tip clasic, laplacean.

---

[3] M. Jammer (/1/, pag. 113—114) arată că o asemenea interpretare a poziţiei lui Einstein nu era totuşi justificată. În acea epocă dezintegrarea radioactivă era considerată încă ca un proces care urma să fie explicat pe baza unor parametri ascunşi, adică fără a se renunţa la determinismul de tip tradiţional. Afirmaţia lui Einstein că un atom poate trece de la o stare energetică la alta, mai scăzută, fără o excitare din afară, nu excludea cîtuşi de puţin, din punctul lui de vedere, posibilitatea unei explicaţii cauzale stricte prin parametri ascunşi.

[4] Analogia, pe care se pare că o avea în vedere Bohr, este bine caracterizată într-o exegeză recentă asupra controversei dintre Einstein şi Bohr. Iată concluzia autorilor : „Deci, Bohr l-a înţeles pe Einstein în sensul că trebuie să renunţăm la încercările de explicare amănunţită a materiei în termenii unui nivel mai ascuns, de tipul celor implicate în supoziţia unui eter care umple spaţiul. Lui Bohr i s-a părut că Einstein dorea să discute numai relaţiile observabile în mişcarea materiei şi să găsească legi invariante în această mişcare. Bohr simţea că aceasta era în mod fundamental asemănător cu ceea ce a făcut el în mecanica cuantică." (D. Bohm, B. Hiley, pag. 58.)

Este uşor de înţeles că poziţia pe care a adoptat-o Einstein la cea de a cincea Conferinţă Solvay de la Bruxelles, din octombrie 1927, a constituit o mare decepţie pentru creatorii şi susţinătorii interpretării probabilistice a mecanicii cuantice[5]. Antipatia ireductibilă, izvorîtă din raţiuni filosofice profunde, a lui Einstein faţă de această interpretare a primit o expresie particulară în încercările sale persistente de a proba lipsa de validitate a relaţiilor de imprecizie. Einstein credea, în mod greşit, cum va recunoaşte mai tîrziu, că o teorie a fenomenelor atomice în care intervin aceste relaţii conţine contradicţii logice. (Vezi M. Jammer /3/, pag. 159.) În numeroase discuţii cu Bohr, Heisenberg şi alţi apărători ai interpretării standard, Einstein imagina situaţii fizice în care aceste relaţii nu ar mai fi valabile. El sugera, bunăoară, că am putea calcula, pe baza principiului conservării, schimbarea momentului fotonului în aşa fel încît atît momentul cît şi poziţia să poată fi determinate cu o precizie pe care relaţiile de nedeterminare o interzic. (Pentru alte amănunte, vezi N. Bohr /7/.) Şi de fiecare dată cînd Bohr reuşea să arate că şi în experimentul imaginat de Einstein intervin totuşi relaţiile de imprecizie, acesta din urmă admitea că exemplul nu este bun şi propunea altul. El renunța, cu alte cuvinte, la un argument tehnic sau altul, dar nu la filosofia care stătea în spatele acestora. Este semnificativ că eșecul repetat al încercărilor sale de a produce experimente mintale care să infirme relațiile de imprecizíune nu l-au determinat mult timp să renunțe la asemenea încercări. Einstein a reluat discuțiile cu Bohr, pe această temă, și la a șasea conferință Solvay din 1930. Abia după 1930, el a admis că experimentele sale mintale dovedesc nu inconsistența ci incompletitudinea a ceea ce numea „teoria statistică a cuantelor“.

---

[5] Tot o poziţie negativă faţă de noua interpretare propusă de Bohr au adoptat cu această ocazie Lorentz, Schrödinger şi de Broglie. Lorentz susţinea pur şi simplu păstrarea determinismului şi a descrierii spaţio-temporale clasice a tuturor fenomenelor fizice, fără să facă propuneri constructive. Modul cum şi-a exprimat el aşteptările şi speranţele rămîne şi astăzi impresionant: „Îmi voi păstra întotdeauna credinţa mea deterministă în legătură cu fenomenele fundamentale despre care v-am vorbit. Oare un spirit mai profund nu ar putea explica mişcările acestor electroni ? N-am putea păstra determinismul, făcînd din el obiectul unei credinţe ? Este absolut necesar să ridicăm indeterminismul la rangul de lege ?" Schrödinger recomanda părăsirea noţiunii de corpuscul, punct de vedere cu care de Broglie nu putea fi de acord. (Pentru amănunte, vezi M. A. Tonnelat).

Fără îndoială, aceste reveniri continue la încercări care s-au dovedit în mod repetat infructuoase de a produce argumente tehnice împotriva interpretării larg acceptate a mecanicii cuantice izvorăsc din convingeri profunde, de ordin filosofic. Motivația a fost căutată de participanții la discuții în primul rînd în repulsia creatorului teoriei relativității față de sugestia că o teorie fizică ar putea fi principial limitată la descrierea unor situații posibile, și nu reale, că o asemenea descriere ar putea fi considerată ca o descriere completă a realității fizice[6]. Era poziția pe care Einstein o exprima glumeț și concis prin sentința : *„Der liebe Gott würfelt nicht“* (Bunul Dumnezeu nu aruncă zarurile). Este potrivit să ne oprim asupra opțiunilor filosofice care stăteau la baza atitudinii sale față de „teoria statistică a cuantelor“, așa cum se exprimă aceasta în unele lucrări publicate după 1930 și îndeosebi în corespondența lui Einstein și în alte relatări cu caracter personal. Care ar fi sîmburele tare al convingerilor filosofice ale lui

---

[6] „Einstein nu era dispus să accepte caracterul principial statistic al noii teorii cuantice. El nu avea desigur nimic împotriva formulării unor enunțuri probabilistice acolo unde sistemul nu era cunoscut exact în toate elementele lui relevante. Pe asemenea enunțuri se sprijinea doar mecanica statistică de pînă atunci și teoria căldurii. Einstein nu voia însă să admită că ar putea să fie principial imposibil să cunoaștem toate elementele relevante necesare pentru o determinare completă a evenimentelor.“ (W. Heisenberg /9/, pag. 114.) La sfîrșitul deceniului al patrulea, Einstein își exprima direct și simplu crezul filosofic, în aceste cuvinte : „Unii fizicieni, printre care eu însumi, nu pot să creadă că trebuie să părăsim cu adevărat și pentru totdeauna ideea unei reprezentări directe a realității în spațiu și timp ; sau că trebuie să acceptăm punctul de vedere că evenimentele în natură sînt asemănătoare unui joc de noroc.“ (A. Einstein /5/, pag. 110.)

Einstein[7], de la care el nu s-a abătut cîtuși de puțin pînă la sfîrșitul vieții, în ciuda unor schimbări în proiectele și argumentele tehnice destinate să facă propria sa viziune interesantă și plauzibilă pentru specialiști ?

Este vorba, în primul rînd, de ceea ce am putea numi *principiul realismului*, în înțelesul pe care-l dădea Einstein termenului : fizica teoretică este ținută să descrie evenimente și procese reale, care au loc în spațiu și timp, independent de actul observației și de dispozitivele utilizate de experimentator. Multe din remarcile critice pe care le-a formulat Einstein la adresa interpretării consacrate de școala de la Copenhaga, în lucrări publicate, în corespondență sau în conversații particulare, au drept punct de plecare convingerea lui adîncă că acest mod de a concepe realitatea fizică are o valoare universală, absolută. Pentru Einstein o cercetare care nesocotește această exigență nu mai poate fi considerată reprezentativă pentru fizica teoretică. În al doilea rînd, trebuie menționat *principiul determinismului*. Concepția einsteiniană asupra determinismului fizic ar putea fi formulată astfel : toate evenimentele din universul fizic, în toate detaliile lor, indiferent dacă pot fi observate sau nu în prezent și indiferent dacă posibilitatea de a fi observate și măsurate poate fi probată astăzi, sînt determinate de legi stricte, neprobabilistice. Descoperirea acestor legi este scopul fundamental al oricărei cercetări teoretice. Probabilitățile exprimă întotdeauna necunoașterea parțială a condițiilor și legilor ce determină, în realitate, comportarea unui sistem fizic. O descriere teoretică care atribuie probabilităților o valoare principială, o teorie „esențial statistică“, cum se exprima adesea Einstein, este inacceptabilă fiindcă este în mod fundamental incompletă[8]. În sfîrșit, în al treilea rînd, descrierea teoretică trebuie să satisfacă principiul continuității spațio-temporale sau principiul acțiunii din aproape în aproape, potrivit căruia o acţiune exterioară asupra obiectului A nu are un efect imediat asupra obiectului B, distanţat în spaţiu în raport cu A. (Vezi A. Einstein /6/, pag. 321—322). Principiul este numit astăzi, în mod obişnuit, *principiul separabilităţii.*

---

[7] „Filosofia lui Einstein — scria M. Born — nu este un sistem care ar putea fi găsit într-o carte. Ar trebui să ne dăm osteneala să o extragem din lucrările lui de fizică și din cîteva articole și scrieri cu caracter mai general.“ (M. Born /2/, pag. 175.)

[8] „Particula (liberă) are în realitate o poziție determinată și o cantitate de mișcare determinată, chiar dacă ele nu pot fi precizate amîndouă, în același timp, pentru același caz individual, printr-o măsurare. După această concepție funcția ψ dă o descriere incompletă a unei stări reale. Această concepție nu

Filosofia creatorului teoriei relativităţii a fost dominată, în a doua parte a vieţii sale, după 1920, de concepţia clasică asupra realităţii fizice, o concepţie în cadrul căreia aceste trei principii se contopesc, constituind o unitate indisociabilă. Tendinţa unor colegi ai lui Einstein de a explica atitudinea lui negativă faţă de mecanica cuantică, considerînd, în mod izolat, fie concepţia lui asupra determinismului, fie realismul său de factură clasică poate fi caracterizată drept rezultatul unei neînţelegeri. Born, de exemplu, influenţat şi de unele exprimări din scrisorile lui Einstein[9], a crezut mult timp că divergenţele lor filosofice izvorăsc exclusiv din poziţia diferită pe care au adoptat-o în problema determinismului. După o vizită pe care a făcut-o în America în 1954, care i-a prilejuit lungi discuţii cu Einstein, la Princeton, Pauli îi scria lui Born : „Am constatat în cursul discuţiilor mele cu Einstein că el respinge ipoteza de bază, esenţială pentru mecanica cuantică, după care *starea unui sistem nu este definită decît dacă se indică modul de a experimenta. Einstein nu vrea să ştie nimic despre aceasta*... Einstein are o prejudecată 'filosofică' ; el consideră că poate fi definită obiectiv (pentru corpurile macroscopice), în *toate* împrejurările, o stare (numită 'reală'), adică *fără* să fie nevoie să se descrie condiţiile experimentale cu ajutorul cărora se cercetează sistemul sau cărora le este supus sistemul. Mi se pare că disputa poate fi redusă la această ipoteză pe care a formulat-o şi pe care o numesc ideea (sau 'idealul') 'observatorului detaşat'. Cred, dimpotrivă, ca şi alţi partizani ai mecanicii cuantice, că probele expe-

---

este cea acceptată de fizicieni. Adoptarea ei ar presupune ca ei să năzuiască dincolo de descrierile incomplete, spre o descriere completă a stării de fapt şi să caute legi pentru o asemenea descriere. Aceasta ar însemna aruncarea în aer a cadrului teoretic al mecanicii cuantice." (A. Einstein /6/, pag. 320.)

[9] „În ceea ce priveşte speranţele noastre ştiinţifice — îi scria Einstein lui Born la 7 noiembrie 1944 — am ajuns la antipozi. Tu crezi în Dumnezeul care aruncă zarurile, iar eu în legitatea deplină, într-o lume unde există ceva obiectiv, pe care încerc să-l surprind pe o cale sălbatic-speculativă." (Vezi M. Born /6/, pag. 96.)

rimentale și teoretice sînt suficiente pentru a dovedi imposibilitatea de a realiza acest ideal“. (Vezi M. Born /6/, pag. 231). În scrisoarea următoare, Pauli îi sugera lui Born ideea că acesta din urmă nu a înţeles esenţa poziţiei filosofice a lui Einstein şi deci resorturile ultime ale divergenţelor lor filosofice. „Poziţia filosofică a lui Einstein este mai degrabă ’realistă’ decît ’deterministă’, adică ’prejudecata’ lui filosofică este diferită“. (Vezi M. Born /6/, pag. 233). Caracterizînd foarte sugestiv ceea ce numea „realismul“ lui Einstein, Pauli se înșeală, cred, totuși, în măsura în care situează această poziție în termeni de disjuncţie cu credinţa lui Einstein în determinismul strict. Viziunea clasică asupra determinismului a fost o componentă inalienabilă a concepţiei einsteiniene asupra realităţii fizice. Einstein s-a exprimat nu o dată deosebit de limpede în această privinţă. Semnalîndu-i, în 1949, prietenului său Besso volumul editat de P. A. Schilpp (vezi A. Einstein /7/ și /8/), Einstein caracteriza confruntările sale cu susţinătorii interpetării probabilistice a mecanicii cuantice, cuprinse în această carte, scriind: „Îl apăr pe bunul Dumnezeu (adică natura — M.F.) împotriva ideii unui pretins joc de zaruri continuu“. (A. Einstein /12/, pag. 249). Într-o altă scrisoare, din 15 aprilie 1950, Einstein preciza: „Problema ’cauzalității’ nu este absolut centrală, ci mai degrabă problema existenței reale și problema de a ști dacă există o categorie oarecare de legi riguros valabile (nu statistice) pentru realitatea reprezentată teoretic“. (A. Einstein /12/, pag. 258). Einstein spune aici textual că „problema existenței reale“ și „problema de a şti dacă există o categorie oarecare de legi riguros valabile (nu statistice) pentru realitatea reprezentată teoretic“ sînt pentru el deopotrivă de „centrale“.

Opoziţia de neclintit a lui Einstein faţă de acceptarea mecanicii cuantice ca o teorie completă și definitivă a proceselor atomice (ca o *teorie închisă* în sensul pe care îl dă acestei expresii Heisenberg) se întemeiază pe constatarea că aceasta nu satisface condiţii pe care le considera indispensabile pentru o descriere satisfăcătoare a realităţii fizice. Putem astfel înţelege de ce atitudinea lui negativă faţă de interpretarea standard a mecanicii cuantice nu s-a schimbat după 1930 cînd a recunoscut eşecul încercărilor pe care le-a întreprins pînă atunci de a dovedi inconsistenţa internă a teoriei.

Oricît ar fi de mare succesul noii teorii, capacitatea ei de unificare și ordonare a legilor stabilite experimental, valoarea ei predictivă și euristică, ele nu pot suplini ceea ce Einstein considera drept insuficiențele ei fundamentale de ordin filosofic. Împotriva opiniei marii majorități a fizicienilor teoreticieni, Einstein a reafirmat continuu punctul său de vedere că mecanica cuantică nu poate să reprezinte decît o etapă provizorie în evoluția spre o teorie fizică satisfăcătoare a proceselor atomice [10]. O asemenea teorie nu există, ci trebuie să fie abia creată. Iată, foarte pe scurt, argumentarea pe care o dădea el acestei concluzii. Trebuie recunoscut că teoria statistică a cuantelor reprezintă singura explicație care s-a dat pînă acum evenimentelor mecanice din microcosm, în primul rînd caracterului dublu, corpuscular și ondulatoriu, al substanței [11]. Dar teoria nu poate fi considerată drept o explicație satisfăcătoare a faptelor ex-

---

[10] Într-o scrisoare adresată lui M. Besso, la 5 ianuarie 1929, Einstein, după ce amintea în treacăt că încercările sale de a uni electromagnetismul cu gravitația într-o teorie unitară sînt considerate „desuete“ de către colegii săi fizicieni, adăuga: „Dar cînd vor fi atinse cu adevărat limitele maniei statistice, se va reveni cu căință la reprezentarea spațio-temporală, și aceste ecuații vor constitui, atunci, un punct de plecare.“ (A. Einstein /12/, pag. 143.) Pest ecîțiva ani, la 16 februarie 1936, Einstein /12/, pag. 143.) Peste cîțiva ani, la 16 februarie 1936, statistică, în ciuda tuturor succeselor ei, ca o fază tranzitorie, și am speranța de a ajunge la o teorie într-adevăr satisfăcătoare a materiei.“ (A. Einstein /12/, pag. 181.) Iar la 10 octombrie 1938, Einstein relua această temă în termenii următori: „Sînt în continuare ferm convins că a voi să punem legile naturii în tiparul probabilist înseamnă, dintr-un punct de vedere profund, a merge pe o cale greșită, în ciuda tuturor succeselor practice ale metodei statistice.“ (A. Einstein /12/, pag. 194.) În sfîrșit, într-o scrisoare din 24 iulie 1949, Einstein își explica atitudinea astfel: „Animozitatea mea față de teoria statistică a cuantelor nu privește conținutul ei cantitativ, ci credința actuală că acest fel de a trata fundamentele fizicii este, în ceea ce privește esențialul, definitiv... Succesul momentan are pentru aproape toată lumea mai multă forță de convingere decît o reflecție de principiu și moda îi face orbi, cel puțin pentru un anumit timp.“ (A. Einstein /12/, pag. 238.)

[11] Einstein admitea chiar că mecanica statistică este teoria care a înregistrat cele mai mari succese, dintre toate teoriile fizice contemporane. „Ea este singura teorie actuală care permite conceperea unitară a experimentelor despre caracterul cuantic al evenimentelor mecanice din microcosm.“ (A. Einstein /6/, pag. 30.) Legile ei vor trebui să fie cuprinse drept consecințe în teoria viitoare asupra evenimentelor atomice. (Vezi A. Einstein /7/, pag. 494.)

perimentale. O asemenea explicaţie trebuie neapărat să permită o descriere completă a sistemelor atomice individuale. Or, teoria existentă, prin natura ei, nu descrie decît *sisteme totale (Systemgesamtheiten)* şi nu *sisteme individuale (Einzelsysteme).* Ea nu satisface deci modul în care înţelegea Einstein exigenţa ca teoria fizică să ofere o descriere a stărilor fizice reale, exigenţă căreia el îi atribuia o valoare absolută. Motivarea care a stat la baza proiectului ştiinţific al lui Einstein este exprimată concis şi deosebit de limpede în următoarele fraze : „Dacă teoria statistică a cuantelor nu oferă o descriere completă a sistemului individual şi a desfăşurării sale temporale, atunci pare inevitabil să căutăm în altă direcţie o descriere completă a sistemului individual ; este clar de la început că elementele unei astfel de descrieri nu sînt cuprinse înăuntrul schemei conceptuale a teoriei statistice a cuantelor. Odată cu aceasta se va recunoaşte că această schemă nu poate să servească, în principiu, drept bază a fizicii teoretice“. (A. Einstein /7/, pag. 498). Einstein a rămas convins pînă la sfîrşitul vieţii sale că o asemenea bază o poate oferi doar o teorie unitară a cîmpului, care ar permite derivarea legilor tuturor fenomenelor fizice din ecuaţii ce descriu structura continuului [12]. Faţă de această opţiune, Einstein nu vedea nici o alternativă [13].

---

[12] Răspunzînd reproşului că „se cramponează de teoria clasică“, Einstein scria : „Teoria clasică a cîmpului nu este valabilă strict vorbind, aşa că o menţinere inflexibilă pe poziţiile ei nu este posibilă. Teoria cîmpului există însă ca program : 'Funcţii continue în spaţiul cu patru dimensiuni, ca noţiuni de bază ale teoriei'. O menţinere inflexibilă la acest program poate să-mi fie atribuită în mod îndreptăţit.“ (A. Einstein /7/, pag. 501.) Mai tîrziu, Born va caracteriza poziţia lui Einstein astfel : „El vedea în mecanica cuantică modernă o etapă utilă între fizica tradiţională şi o fizică viitoare, încă total necunoscută, care (aceasta era pentru el o necesitate filosofică) va restabili conceptele tradiţionale de realitate fizică şi de certitudine deterministă. În ochii săi, mecanica cuantică nu era 'falsă', ci 'incompletă' şi 'neîncheiată'. Argumentele lui erau, în esenţă, de natură filosofică...“. (M. Born /6/, pag. 217.) Cred că pasajele citate descriu amîndouă, în mod fidel, presupoziţiile unuia şi aceluiaşi program ştiinţific. Deosebirile dintre cele două prezentări reflectă deosebirile dintre poziţiile filosofice ale celor doi fizicieni.

[13] „O asemenea justificare nu are însă nici o greutate pentru cel ce se îndoieşte că trebuie să rămînem ataşaţi ferm de ideea continuului. Tot respectul pentru îndoiala lui, dar unde se arată altă cale accesibilă ?“ (A. Einstein /7/, pag. 502.)

Pînă după 1950, cînd au fost propuse alternative deterministe bazate pe teorii cu parametri ascunși, singurul fizician teoretician de mare reputație care a mai avut curajul de a susține public în mod constant caracterul inacceptabil al teoriei cuantelor a fost Schrödinger. Scepticismul acestor doi mari oameni de știință față de înțelegerea curentă a fizicii atomice și a direcțiilor ei de dezvoltare era inspirat, în mod vădit, de aceleași idealuri științifice. Einstein însuși pare să-l fi considerat pe Schrödinger drept omul care înțelege cu aceeași acuitate ca și el că abandonarea conceptului tradițional al realității fizice ar echivala cu o degradare a fizicii ca știință teoretică. Conștiința filosofică adormită a fizicienilor teoreticieni trebuie trezită, ei trebuie făcuți să înțeleagă că renunțarea pe care o presupune adoptarea interpretării devenită ortodoxă nu poate fi acceptată, în nici un caz [14].

Din această perspectivă, demonstrarea caracterului incomplet al descrierii realității fizice în mecanica cuantică devine esențială. Producerea demonstrației, spera Einstein, ar putea convinge pe specialiști că programul său, programul unei teorii unitare a cîmpului, este direcția principală în care trebuie orientate, pe mai departe, eforturile teoreticienilor. După cum se știe, Einstein a fost preocupat în mod deosebit de elaborarea acestei demonstrații. (Vezi îndeosebi A. Einstein /3/, /6/, /7/ și /9/). Pentru a putea judeca lucrurile în cunoștință de cauză este necesar să ne facem o idee generală despre conținutul demonstrației.

Vestitul articol din 1935 (vezi A. Einstein /3/), scris pe baza unor discuții pe care Einstein le-a avut cu B. Podolski și N. Rosen, articol în care a fost propusă pentru prima dată o asemenea demonstrație, începe printr-o formulare a „tezei realiste". Obiectul teoriei fizice îl constituie realitatea fizică, care este independentă de teorie. Conceptele teoriei sînt reprezentări ale acestei realităţi, pe care teoria fizică urmăreşte să o descrie cît mai adecvat. O teorie fizică trebuie să satisfacă două exigenţe fundamentale[15]. În primul rînd, teoria trebuie să fie *corectă*, adică consecinţele derivate din ea să fie în concordanţă cu datele experimentale. În al doilea rînd, teoria trebuie să fie *completă*, adică fiecare element al realităţii fizice trebuie să-şi aibă corespondentul în teorie. Care anume sînt elementele realităţii fizice, aceasta o putem determina pe baza datelor experimentelor şi ale măsurătorilor. Autorii formulează următorul criteriu al realităţii fizice, a cărui „încărcătură filosofică" sare în ochi : „Dacă, fără a perturba în vreun fel un sistem, putem prezice cu certitudine valoarea unei mărimi fizice, atunci există un element al realităţii fizice, care corespunde acestei mărimi fizice." (A. Einstein /3/, pag. 777.) Acestea sînt premisele discuţiei. Mecanica cuantică, ca orice teorie fizică, urmează să fie cercetată din punctul de vedere al satisfacerii acestor două exigenţe sau condiţii fundamentale. Autorii nu se opresc asupra primei condiţii, lăsînd să se înţeleagă că nu pun la îndoială caracterul satisfăcător al teoriei cuantice, din acest punct de vedere. Examenul critic al teoriei este realizat exclusiv prin raportare la cea de a doua condiţie, condiţia completitudinii, care este pentru Einstein o consecinţă necesară a adoptării tezei sale realiste şi are, prin urmare, pentru el, ca şi această teză, o valoare universală[16]. Considerînd descrierea cuantic-mecanică a comportării unei particule, care posedă un grad de libertate, se constată că valoarea coordonatelor ei spaţiale nu poate fi prezisă pe baza ecuaţiei de undă, ci doar determinată prin măsurare directă. Actul măsurării modifică însă caracteristicile de stare ale particulei. Odată ce impulsul particulei este bine precizat, coordonatele ei spaţiale nu mai au realitate fizică, şi, invers, precizarea corodonatelor lipseşte

---

[14] Căruia dintre marii fizicieni ai epocii, dacă nu cumva și lui Planck, ar fi putut oare să-i scrie Einstein rîndurile ce urmează ? „Filosofia sau religia liniștitoare a lui Heisenberg-Bohr este atît de fin urzită încît oferă deocamdată credinciosului o pernă catifelată de pe care nu se lasă atît de ușor alungat. Așa că să-i lăsăm să stea acolo." (Einstein /11/, pag. 29.) Curînd Einstein va considera însă că acest somn durează totuși prea mult și va abandona atitudinea de senină detașare la care invită în ultima frază a pasajului citat.

După cum se vede, în gîndirea lui Einstein, o anumită concepţie asupra realităţii fizice se împleteşte strîns cu un punct de vedere asupra obiectului teoriei fizice şi asupra condiţiilor minime, indispensabile pe care trebuie să le satisfacă o teorie fizică. De fapt, acest raport de condiţionare reciprocă între ideile *ontologice* şi ideile *epistemologice* are un caracter general, putînd fi regăsit şi în filosofia altor fizicieni creatori.

[16] Despre criteriul completitudinii, se spune în textul articolului, „că este în acord atît cu reprezentările clasice despre realitatea clasică, cît şi cu cele mecanic-cuantice".

impulsul de semnificație fizică. De aici rezultă că (1) fie **descrierea mecanic-cuantică** a realității fizice, așa cum este ea dată de funcția de undă, nu este completă, (2) fie cele două mărimi ce caracterizează starea microobiectului nu sînt în mod simultan reale. Autorii își propun să demonstreze prima alternativă și să explice pe această bază caracteristicile descrierii realității fizice în mecanica cuantică. Demonstrația decurge în felul următor. Potrivit interpretării curente a mecanicii cuantice, funcția de undă dă o descriere a realității fizice proprie unei stări a sistemului subatomic. În articol se arată că dacă adoptăm această presupunere și criteriul realității fizice menționat mai sus ajungem în mod necesar la o contradicție. Se probează deci, printr-o demonstrație prin reducere la absurd, că descrierea mecanic-cuantică a realității fizice cu ajutorul funcției de undă nu este completă. Articolul se încheie cu observația că rămîne deschisă întrebarea dacă este posibilă, în general, o descriere completă a realității fizice la nivel subatomic. Autorii își exprimă convingerea că o teorie care oferă asemenea descriere va putea fi construită în viitor.

Demonstrația este reluată într-o altă formă, într-un scurt articol publicat de Einstein în 1948, sub titlul semnificativ *Mecanică cuantică și realitate.* În prima parte a articolului se arată că dacă considerăm o microparticulă liberă, a cărei comportare este descrisă de funcția Ψ (funcția de undă), există, în principiu, două posibilități : 1. Particula are în fiecare moment o poziție precisă și un impuls precis, dar ele nu pot fi determinate în același timp. Urmează că funcția Ψ dă o descriere incompletă a fenomenelor reale ; 2. Particula nu are, independent de interacțiunea cu dispozitivele de măsurare, nici o poziție determinată, nici un impuls determinat. Precizările pe care le aduce în această privință procesul măsurării depind nu numai de situația reală a particulei ci și de caracteristicile, incomplet cunoscute, ale dispozitivului de măsurare. Einstein crede că cel de al doilea punct de vedere este cel adoptat de susținătorii interpretării standard. În partea a doua, sînt formulate *principiul realității* și *principiul continuității,* pe care Einstein le aprecia drept principii de bază ale gîndirii fizice în general. În partea a treia, se demonstrează că dacă adoptăm aceste principii intrăm în contradicție cu ideea de bază a interpretării standard, așa cum a fost formulată mai sus. Se admite, desigur, că susținătorii interpretării au o ieșire din această contradicție și anume renunțarea la principiul continuității sau separabilității. Einstein consideră că nu există însă nici un temei pentru a face aceasta[17]. Trebuie deci să considerăm mecanica cuantică ca „o descriere incompletă și indirectă a realității care urmează să fie înlocuită, mai tîrziu, printr-o descriere completă și directă". (A. Einstein /6/, pag. 323.)

Tema incompletitudinii descrierii mecanic-cuantice este centrală și în scrisorile pe care le-a adresat Einstein, începînd din jurul anului 1930 și pînă la sfîrșitul vieții, lui Born, Besso și îndeosebi lui Schrödinger, despre care Einstein credea nu numai că-l poate înțelege cel mai bine[18], dar și că l-ar putea ajuta în modul cel mai eficient în realizarea proiectului său de elaborare a unei completări deterministe a mecanicii cuantice. Einstein invoca cu insistență un experiment mintal hazliu propus de Schrödinger într-un articol publicat în 1935 (vezi E. Schrödinger /2/). Se presupune că un semnal luminos declanșează cu o probabilitate de 50% un dispozitiv care ucide un motan închis într-o cutie. Se arată că dacă funcția de probabilitate este interpretată ca o descriere completă a realității fizice, atunci motanul din cutia ermetic închisă ar fi, într-un moment determinat al timpului, pe jumătate viu și pe jumătate mort (!). O asemenea concluzie absurdă nu ar putea fi evitată, după părerea lui Einstein, decît dacă recurgem la o schimbare fundamentală a concepției noastre despre știință, și anume, adoptăm punctul de vedere că „legile fundamentale ale naturii se referă nu la schimbările în timp a ceea ce există, ci la schimbările în timp a conținutului așteptărilor noastre îndreptățite". (A. Einstein /11/, pag. 32—33.) Acest punct de vedere, pe care-l califica drept „subiectivist", este respins de Einstein ca fiind în principiu inacceptabil[19]. Într-o scrisoare ulterioară, Einstein exprima deosebit de clar ce credea el că trebuie să fie făcut pentru a depăşi situaţia care s-a creat în fizica atomică : „Oare starea pisicii este creată abia de fizicianul care cercetează situaţia reală, într-un moment al timpului ? În realitate nimeni nu se îndoieşte că existenţa sau inexistenţa pisicii este independentă de actul observării. Atunci însă descrierea prin funcţia ψ este incompletă, şi trebuie să existe o descriere completă. Dacă teoria cuantică ar fi considerată (în principiu) drept completă, ar trebui să se considere că o descriere completă ar fi fără rost, fiindcă pentru ea nu ar mai exista legi. Dacă ar fi aşa, atunci fizica nu ar mai fi interesantă decît pentru băcani şi ingineri ; totul ar fi în acest caz o tristă cîrpăceală“. (A. Einstein /11/, pag. 36.)

---

[17] „Fără supoziția unei asemenea independențe a existenței lucrurilor distanțate spațial unul de altul, care provine mai intîi din gîndirea curentă, gîndirea fizică în sensul comun nu ar fi posibilă. Nu se poate vedea de asemenea, fără o astfel de despărțire clară, cum ar putea fi formulate și testate legi fizice." (A. Einstein /6/, pag. 321.)

[18] „Tu ești (alături de Laue) printre fizicienii contemporani singurul care vede că nu se poate evita postularea realității, dacă sîntem cinstiți." (A. Einstein /11/, pag. 36.)

Încă din jurul anului 1920, creatorul teoriei relativităţii considera că rezolvarea a ceea ce numea enigma cuantelor *(das Quantenrätsel)*, adică deducerea efectelor cuantice în cadrul unei teorii „realiste“ şi „deterministe“, devenise problema fundamentală a fizicii teoretice[20]. De-a lungul aproape a patru decenii, pînă la sfîrşitul vieţii sale, Einstein a încercat realizarea pe diferite căi a proiectului său, publicînd schiţe ale unei teorii „unitare“ a cîmpului. Speranţele şi decepţiile legate de acest proiect constituie un subiect dominant în corespondenţa sa, în special în scrisorile adresate prietenului său Besso. Einstein recunoştea, desigur, că nu ne putem dispensa de probabilităţi în descrierea datelor experienţei fizice directe[21]. El credea însă ferm că idealul fizicii teoretice îl constituie o descriere conceptuală a realității „care este în principiu completă și liberă de statistică". (A. Einstein /10/, pag. 99.) Einstein spera că ar fi posibilă apropierea de realizarea acestui ideal pe calea unei extinderi a teoriei generalizate a relativității în cadrul teoriei unitare a cîmpului. O asemenea teorie, credea Einstein, va trebui desigur să justifice succesul teoriei statistice a cuantelor în calitate de instrument de predicție. Încă în 1936, Einstein aprecia că mecanica cuantică va constitui un test pentru orice bază teoretică viitoare a fizicii, în sensul că „va trebui să fie dedusă, în calitate de caz limită, din această bază, tot așa cum electrostatica poate fi dedusă din ecuațiile lui Maxwell pentru cîmpul electromagnetic sau cum termodinamica poate fi dedusă din mecanica clasică. Nu cred că mecanica cuantică va fi *punctul de plecare* în căutarea pentru această bază, tot așa cum, *viceversa,* nu se poate merge de la termodinamică, (respectiv mecanică statistică) la fundamentele mecanicii". (A. Einstein /4/, pag. 92—93.)

---

[19] Schrödinger împărtăşea, evident, aprecierea lui Einstein. Într-o scrisoare către acesta din urmă (18 noiembrie 1950) el caracteriza un enunţ de probabilitate ca o formulare cu caracter îndoielnic cu privire la existenţa sau inexistenţa a ceva şi adăuga : „Un enunţ de probabilitate implică realitatea deplină a obiectului său.“ (E. Schrödinger /6/, pag. 34.)

[20] Einstein însuşi datează în acest fel începuturile eforturilor sale în această direcţie. Într-o scrisoare din 8 august 1938, el îi comunica lui Besso : „Pe plan ştiinţific, parcurg o perioadă foarte interesantă. Ştii bine că nu am crezut niciodată în fundamente principial statistice ale fizicii, în ciuda succesului teoriei cuantelor. Or, iată că am găsit în acest an, după douăzeci de ani de cercetări zadarnice, o teorie promiţătoare a cîmpului, care este continuarea firească a teoriei relativiste a gravitaţiei.“ (A. Einstein /12/, pag. 189.)

[21] Born reproduce următorul comentariu semnificativ, scris de Einstein pe marginea unui exemplar din cartea sa *Natural*

Cu trecerea timpului, preocuparea lui Einstein pentru realizarea proiectului său științific devine obsesivă. Einstein a investit în multiplele sale variante mult mai multă muncă și eforturi creatoare decît în cele mai strălucite din realizările lui științifice, care i-au asigurat o poziție unică printre fizicienii secolului nostru [22]. Marii majorități a fizicienilor teoreticieni ai vremii, care se îndepărtaseră definitiv de idealurile în care continua să creadă Einstein, această insistență îi apărea ca o eroare (Born /6/, pag. 104, spune „rătăcire tragică"), cu

---

Philosophy of Cause and Chance: „Știu bine că nu există cauzalitate (în sens de determinism strict, laplacean — M.F.) în ceea ce privește fenomenele observate; consider acest principiu drept definitiv. Dar aceasta nu este, după părerea mea, un motiv pentru a conchide că și *teoria* trebuie să se sprijine pe legi statistice. Este foarte posibil că structura (moleculară) a instrumentelor de observație determină caracterul statistic al faptului observat, dar și că se va dovedi pînă la urmă rezonabil să înlăturăm din fundamentele teoriei orice noțiune statistică." (M. Born /6/, pag. 179.)

[22] „Remușcările pe care mi le provoacă tăcerea mea îndelungată sînt aproape insuportabile. Aceasta se datorează pur și simplu faptului că demonul cercetării nu-mi lasă nici un minut de libertate, ceea ce face să-mi pierd ultimii dinți, înverșunîndu-mă asupra dificultăților matematice." (E. Einstein /12/, pag. 222.) Aceste rînduri au fost scrise în 1946 și vin, deci, din partea unui om de 67 de ani!

urmări fatale asupra carierei sale ştiinţifice. Ei subliniau, cu fiecare ocazie, vizînd în mod deschis punctul de vedere al lui Einstein sau făcînd doar aluzie la el, că o reîntoarcere la o teorie fizică de tip clasic nu mai este posibilă[23], şi îşi manifestau consternarea faţă de insuccesul încercărilor de a-l convinge pe Einstein că urmăreşte o himeră. Perseverînd în încercările de a crea o teorie de tip clasic, ale cărei ecuaţii ar fi permis să se realizeze ceea ce el numea „distrugerea bazelor statistice ale teoriei cuantelor“, Einstein a ajuns într-o profundă izolare faţă de majoritatea colegilor săi, care considerau că şi-a pierdut a doua parte a vieţii sale de cercetător, concentrîndu-şi în mod steril eforturile asupra unui proiect lipsit de perspectivă[24]. Einstein recunoştea această izolare[25]. Mai mult, el o explica prin insuccesul încercărilor de a aduce proiectul său în stadiul unei teorii ştiinţifice, adică în stadiul în care pot fi derivate din ecuaţii consecinţe fizic testabile. Einstein recunoştea fără rezerve, în correspondență și în discuții personale, că eforturile sale nu au dus la un rezultat palpabil, la o teorie care poate fi confruntată cu faptele și conduce la predicții despre fapte noi, și sublinia, totodată, că numai asemenea rezultate ar putea schimba mentalitatea dominantă[26]. Convingerea lui că proiectul este în același timp realizabil și de importanță capitală, că insuccesele de pînă acum relevă doar limitele sale personale, era nestrămutată. Cuantele nu primiseră o explicație teoretică cît de cît satisfăcătoare, în sensul pe care-l dădea el termenului *explicație rațională* în fizică[27]. Indiferența marii majorități a fizicienilor teoreticieni față de această situație nu ar exprima decît faptul că această comunitate a încetat să mai aibă convingeri filosofice clare. Destinul fizicii teoretice nu ar trebui totuși să depindă de acest accident istoric regretabil. Cel care are conștiința caracterului nesatisfăcător al situației care s-a creat trebuie să contribuie, cu toate puterile sale, chiar dacă ele se dovedesc slabe, la restabilirea situației, la elaborarea unei „teorii cu adevărat raționale“ asupra efectelor cuantice[28]. Într-o chestiune de o asemenea însemnătate, în care este în joc însuși idealul științei teoretice, nereușitelor temporare, oricît de numeroase ar fi ele, nu ar trebui să li se acorde o prea mare semnificație. Căci nu este vorba de ambiții personale, de eșecul sau succesul unei idei favorite, părea să gîndească Einstein, ci de apărarea unei tradiții unice de o valoare inestimabilă, tradiția științei exacte a naturii, inaugurată de Arhimede, Galilei și Newton. Istoria științei ne arată că deosebirile de poziții în poblemele de fundamente nu pot fi judecate decît într-o perspectivă istorică largă. Faptul că rezultatele cu totul nesatisfăcătoare pe care le-a obținut, la capătul unor eforturi susținute și îndelungate, nu au clătinat cît de cît încrederea lui Einstein că se află pe drumul cel bun pune în evidență, într-un mod impresionant, puterea de rezistență pe care o pot avea convingerile filosofice profunde ale cercetătorului în fața eșecurilor sale repetate de a realiza programul științific pe care acestea îl inspiră. Într-o scrisoare către Solovine din 25 noiembrie 1948, Einstein admitea că nu-și va putea duce pînă la capăt teoria sa unitară. El socotea că aceasta va fi uitată, dar spera că va fi redescoperită mai tîrziu, și remarca cu seninătate : „Așa s-au petrecut lucrurile și cu alte probleme". (A. Einstein /10/, pag. 91.) Einstein a rămas la fel de încrezător pînă la sfîrșit, deși recunoștea că nu a înregistrat succese în măsură să atenueze cît de cît scepticismul majorității colegilor. „Este într-o anumită măsură trist să vedem că ne găsim încă în stadiul de copii în scutece ... ", îi scria el lui Schrödinger (A. Einstein /11/, pag. 37). Este clar că Einstein aprecia cu luciditate, fără menajamente situația momentană a proiectului său științific favorit, dar credea totodată ferm că această situație nu este decît provizorie. El ar fi putut deci să-și păstreze intactă încrederea chiar dacă discrepanța dintre eforturi și lipsa oricărui succes ar fi fost mult mai pronunțată. Recunoscînd că teoria sa unitară este „un program, nu știință". Einstein îi scria lui M. Born (15 septembrie 1950), care îi era cel mai apropiat ca om dintre adversarii săi filosofici : „Așteptînd, rămîn singur cu opinia mea, ca și Leibniz în fața spațiului absolut al teoriei lui Newton". (M. Born /6/, pag. 203.) Admirat de toți cei care l-au cunoscut pentru naturalețe, bun simț și o modestie autentică, Einstein nu dădea înapoi, atunci cînd era vorba de o problemă pe care o aprecia drept într-adevăr vitală, nici în fața unei asemenea analogii istorice. El spera că viitorul îi va da dreptate în conflictul său cu susținătorii interpretării statistice a teoriei cuantelor chiar și la distanța ce desparte în timp afirmarea, pe temeiuri filosofice generale, a ideii relativității timpului de către Leibniz, de fundamentarea ei științifică în teoria relativității. În știință, ca și în viață, multe cauze importante ar fi pierdute dacă cei care luptă pentru ele s-ar lăsa abătuți din drumul lor de indiferența sau împotrivirea contemporanilor. Einstein a lucrat la proiectul său pînă în ultima zi a vieții. Expresia „ultima zi" trebuie să fie luată, în acest caz, în sensul ei strict[29].

---

[23] Ca şi în alte cazuri, Pauli a exprimat acest punct de vedere în modul cel mai clar şi mai lipsit de menajamente. El îşi încheia articolul omagial consacrat contribuţiilor lui Einstein la dezvoltarea mecanicii cuantice cu cuvintele: „Determinarea teoretică a constantei structurii fine este în mod sigur cea mai importantă din problemele nesoluţionate ale fizicii moderne. Noi credem că orice întoarcere la ideile fizicii clasice (ca, de exemplu, utilizarea conceptului clasic de cîmp) nu ne poate aduce mai aproape de acest ţel. Pentru a-l atinge va trebui, probabil, să acceptăm alte schimbări revoluţionare ale conceptelor fundamentale ale fizicii, care ne vor îndepărta şi mai mult de conceptele teoriei clasice.“ (W. Pauli /2/, pag. 158.)

[24] Un om de cultură, situat oarecum în afară, descria această „dramă“, din punctul de vedere al opiniei ştiinţifice dominante, astfel: „Şi este adevărat că fizicienii, colegii săi, care l-au venerat cu pasiune, gîndeau uneori că el a fost un păcătos bătrîn şi încăpăţînat. Ei credeau că el a risipit o jumătate din viaţa intelectuală a celei mai puternice minţi în viaţă. Ei simţeau că şi-au pierdut conducătorul lor firesc.“ (C. P. Snow, pag. 13.)

[25] În ultimii ani ai vieţii, el îi scria biografului său C. Seelig: „Mă deosebesc în mod hotărîtor în părerile mele despre fundamentele fizicii de aproape toţi contemporanii mei şi, prin urmare, nu îmi pot permite să acţionez ca purtător de cuvînt pentru fizicienii teoreticieni“. Iar lui Besso, Einstein îi scria cu referire la poziţia lui faţă de mecanica cuantică: „Sînt în aceeaşi situaţie ca evreii faţă de Messia.“ (A. Einstein /12/, pag. 232). Chiar şi această comparaţie este blîndă. În 1949, cînd scria aceste rînduri, Einstein era încă aproape singur în atitudinea sa sceptică.

---

[26] Iată relatarea unui filosof cu pregătire fizică, unul din ultimii interlocutori cu care Einstein a discutat acest subiect, despre o convorbire care a avut loc în anul 1953 : „Formula universului era în fața lui, dar nu exista o cale de a o proba sau de a o infirma. 'Astfel, formula universului este ca o cutie închisă, care nu poate fi deschisă' spunea el rîzînd tot timpul și îmi povestea amuzat, ceea ce îmi apărea mie, cel care-l asculta, povestea pierderii a mulți ani ai vieții sale“. (H. Bergman, pag. 393—394.)

[27] „Sînt pe deplin convins — scria Einstein în septembrie 1952 — că adevărul se situează departe de învățătura actuală. Cine știe dacă teoria mea relativistă generală a cîmpului nesimetric nu este cea bună ? Dificultățile matematice ale confruntării cu experiența sînt pentru moment de nedepășit. Oricum ar sta lucrurile, sîntem tot atît de departați de o teorie cu adevărat rațională (a dualității cuantelor de lumină și a particulelor) cît eram acum cincizeci de ani.“ (A. Einstein /12/, pag. 283.)

[28] „O teorie cu adevărat rațională trebuie să permită să *deducem* particulele elementare (electron etc.), și nu să fim obligați de a le postula *a priori.*“ (A. Einstein /12/, pag. 283.)

Despre controversele lui Einstein cu susținătorii interpretării standard a mecanicii cuantice, îndeosebi despre disputa lui cu Bohr, s-a scris mult. (Vezi, de exemplu, C. Fr. von Weizsäcker /2/ și /3/, H. Erlichson, L. E. Ballentine, R. S. Shankland, A. Shimony /3/, N. Rosen, M. Bunge /5/, M. Jammer /2/ și /3/, K. von Meyenn.) Supozițiile acestor autori cu privire la resorturile ultime ale acestei controverse și explicațiile pe care le dau caracterului ireconciliabil al divergențelor sînt destul de diferite. Nu le voi expune aici, ci voi încerca să formulez cîteva concluzii de ordin general, pornind în primul rînd de la sursele prime, dar utilizînd și sugestii cuprinse în literatura care comentează controversa.

Se poate constata, mai întîi, că poziția lui Einstein este inatacabilă, atît timp cît este considerată din punct de vedere strict logic. Einstein a produs într-adevăr o demonstrație a incompletitudinii și deci a caracterului nesatisfăcător al descrierii mecanic-cuantice a realității fizice. Această aserțiune trebuie înțeleasă în sensul că odată ce acceptăm toate premisele raționamentelor sale, sîntem constrînși să împărtășim și concluzia, care decurge din ele cu necesitate logică. Einstein a elaborat de-a lungul anilor versiuni diferite ale demonstrației sale, reușind să-i dea, în cele din urmă, o formă deosebit de clară, concisă și elegantă. (Vezi îndeosebi Einstein /6/ și /9/.) Singura cale de a te sustrage concluziei era de a pune în discuție premisele. Lui Einstein această cale i se părea închisă ; el atribuia premiselor demonstrației sale o valoare absolută. Ne putem întreba, desigur, dacă o asemenea comportare este compatibilă cu atitudinea critică ce se cere omului de știință exactă ?

Toți cei care l-au cunoscut bine pe Einstein au fost de acord că el a rămas pînă la sfîrșitul vieții sale un spirit rațional și critic. Această convingere era împărtășită și de cei mai proeminenți dintre adversarii lui filosofici, de Bohr, Born sau de Heisenberg[30]. Tocmai de aceea, ei nu au renunțat la încercările de a-l face să-și schimbe punctul de vedere asupra fundamentelor fizicii teoretice. Dincolo de dificultățile pe care le-au întîmpinat în localizarea premiselor divergențelor, ei nu au acordat atenție suficientă împrejurării că, datorită naturii lor eminamente filosofice, aceste premise nu sînt susceptibile să fie examinate și criticate în același fel ca și argumentele tehnice cu caracter special[31].

---

[29] „Lîngă patul său, într-o noapte de duminică, zăceau cîteva pagini de manuscris. Ele cuprindeau mai multe ecuații ce conduceau spre o teorie unificată a cîmpului decît a găsit vreodată. El spera să fie suficient de scutit de dureri a doua zi pentru a lucra la ele. Dimineața, devreme, pustula aortei s-a spart și a murit." (C. P. Snow, pag. 17.)

---

[30] Este adevărat că unii reprezentanți ai generației mai tinere de fizicieni, care au fost educați în spiritul interpretării standard, erau înclinați să creadă că Einstein nu a făcut eforturile necesare pentru a-și adapta gîndirea noilor idei științifice. „În institutul lui Bohr — își amintește Weizsäcker — cineva a remarcat, după lectura unui articol de ziar cu privire la vederile politice revoluționare ale lui Einstein: 'Nu este oare ciudat, că Einstein este atît de conservator doar în fizică ?' " (Vezi C. Fr. von Weizsäcker /3/, pag. 171.)

[31] S-ar putea obiecta că în scrierile lui Heisenberg, de pildă, întîlnim comentarii care par să ne conducă la altă concluzie. Iată unul dintre acestea, referitor la discuția care a avut loc la Conferința Solvay din 1927: „Din nou, mi-a devenit clar cît de greu este să renunțăm la reprezentările care au constituit pînă atunci pentru noi temelia gîndirii și a muncii științifice. Einstein s-a angajat prin munca sa de o viață să cerceteze acea lume obiectivă a evenimentelor care se desfășoară în spațiu și timp, independent de noi, după legi stricte. Acum se afirma că dacă coborîm pînă la atomi nu mai există deloc o asemenea lume obiectivă în spațiu și timp, și că simbolurile matematice ale teoriei fizice reflectă posibilul, nu factualul. Einstein nu era dispus să lase să-i alunece pămîntul de sub picioare, cum resimțea el lucrurile." (W. Heisenberg /9/, pag. 115.) Acestea sînt însă reflecții retrospective, puse pe hîrtie mult timp după moartea lui Einstein. În realitate, nici Heisenberg, nici ceilalți mari fizicieni teoreticieni, care au contribuit la formularea interpretării standard nu au renunțat vreun moment la speranța de a-l converti pe Einstein. Heisenberg însuși povestea, cu alt prilej, despre ultima lui întîlnire cu Einstein, în 1954: „A fost o după masă foarte frumoasă pe care am petrecut-o cu Einstein, dar cînd am ajuns să vorbim despre interpretarea mecanicii cuantice nu l-am putut convinge pe el și el nu m-a putut convinge pe mine." (W. Heisenberg /10/, pag. 270.) Semnificativ nu este numai că ei au sperat să obțină prin argumente o schimbare a atitudinii lui Einstein, ci și că nereușitele acestor încercări îi intrigau, le produceau un sentiment de profundă nemulțumire intelectuală. Bunăoară, A. Pais, un fizician danez, fost elev al lui Bohr, care lucra la Princeton în 1948, cînd Bohr a făcut o vizită aici și a avut discuții cu Einstein, relatează un fapt deosebit de semnificativ. Într-o zi Bohr a venit necăjit în biroul său spunîndu-i: „mi-e ciudă

O examinare lucidă a situației reale, așa cum poate fi ea reconstruită pe baza documentelor și mărturiilor istorice, ne conduce la concluzia aparent paradoxală că Einstein a rămas pînă la sfîrșit un cercetător rațional, critic, deschis la argumente, dispus să examineze și să adopte chiar puncte de vedere diferite de cel propriu și a fost, în același timp, un conservator în ceea ce privește convingerile filosofice. Aceasta este desigur o apreciere făcută din afară. Einstein însuși nu s-ar fi putut recunoaște vinovat de conservatorism pe plan filosofic, și iată anume de ce. În sensul obișnuit al cuvîntului, un *conservator* este acela care refuză să abandoneze o poziție, un punct de vedere față de care există alternative rezonabile. Or, Einstein nu vedea, evident, asemenea alternative. Din punctul lui de vedere, o știință teoretică care renunță la exigențe, cum ar fi principiul „realismului", al „determinismului" sau al „separabilității", nu mai merită acest nume. Nu ar mai rămîne, în acest caz, cum se exprimă el într-un pasaj citat mai sus, dintr-o scrisoare adresată lui Schrödinger, decît „o tristă cîrpăceală". Este adevărat că Einstein reproșa adversarilor teoriei relativității neînțelegerea faptului că ideile noastre cu privire la ceea ce este „rațional evident" se pot schimba de-a lungul timpului. Aceasta nu-l împiedica însă să creadă că există evidențe sau intuiții elementare care rămîn neatinse, cel puțin atît timp cît se conservă un anumit tip de gîndire și știința teoretică a naturii care a luat naștere și s-a dezvoltat în cadrele sale. Einstein a lăsat să se înțeleagă destul de clar în unele din scrierile sale filosofice că, după părerea lui, știința teoretică a naturii devine posibilă numai pe baza unor presupoziții filosofice care sînt de cele mai multe ori tacite dar în același timp fundamentale și inalienabile. (Vorbind despre ceea ce numea „religia cercetătorului"[32], Einstein în-

---

pe mine" și explicîndu-i că a avut o nouă discuție cu Einstein asupra mecanicii cuantice. „Și acest lucru nu s-a schimbat pînă la sfîrșit, el nu l-a putut convinge pe Einstein." Fără îndoială — comenta Pais —, lipsa de acord a lui Einstein a fost o frustrare profundă pentru Bohr. (Citat după J. Bernstein, pag. 131.)

[32] „Nu am găsit o expresie mai bună decît expresia 'religioasă' pentru această încredere în constituția rațională și cel puțin într-o anumită măsură accesibilă rațiunii omenești a realității. Acolo unde acest sentiment lipsește, știința degenerează în empirie lipsită de spirit." (A. Einstein /10/, pag. 103.)

cerca să expliciteze tocmai asemenea supoziții). Înstrăinarea față de ele îi apărea ca o înstrăinare de propria sa ființă și viață intelectuală. Totul poate și trebuie supus examenului critic al gîndirii raționale, în afara bazelor și condițiilor generale ale gîndirii raționale înseși. Ele nu pot fi asigurate din afară ci se impun prin evidența lor elementară. Einstein face apel, de preferință, la expresii ca „instinct“, „voce interioară“, „senzație“ sau „sentiment“ pentru a caracteriza poziția lor privilegiată. El sublinia, bunăoară, că nu poate accepta, în principiu, o descriere fizică a fenomenelor care implică că o măsurare efectuată asupra unui obiect situat în punctul A al spațiului va modifica caracteristicile realității fizice într-un punct B al spațiului, distanțat de primul. „Instinctul meu științific — scria Einstein — se zbîrlește la această idee.“ (M. Born /6/, pag. 181.) [33] În ultimele sale texte consacrate problemelor principiale ale cunoașterii fizice, îndeosebi în articolul scris pentru volumul omagial dedicat lui L. de Broglie (vezi A. Einstein /9/) Einstein a caracterizat într-un mod foarte potrivit natura filosofică a premiselor gîndirii sale științifice. Formulînd ceea ce numea „cerința realității“ *(Realitätsförderung)* [34], și observînd cu ironie că ea este acceptată de toți oamenii, inclusiv de fizicienii teoreticieni cu care este în dezacord, atît timp cît aceștia din urmă nu discută asupra bazelor mecanicii cuantice, Einstein previne explicit asupra situației excepționale a unei asemenea idei, asupra a ceea ce o deosebește de ideile științifice curente. „Cerința realității“ este calificată drept „metafizică“, în sensul pe care îl dă Einstein termenului, sens explicat cîteva fraze mai jos, cînd se spune că această cerință „este arbitrară atît timp cît o considerăm din punct de vedere pur logic“. Cu alte cuvinte, în calitatea ei de supoziție filosofică primară, această idee nu poate fi întemeiată în mod deductiv, nu poate fi derivată dintr-un postulat cu un nivel mai înalt de generalitate. Einstein consideră evident că „cerința realității“ și alte asemenea supoziții filosofice funcționează în mod spontan sau conștient ca puncte de plecare în demersurile gîndirii științifice. Ele însele nu pot fi însă niciodată demonstrate, fiind, în acest sens, „arbitrare din punct de vedere logic“.

---

[33] Exprimările de acest fel abundă îndeosebi în corespondența lui Einstein. „În ce mă privește, îmi urmez scopul științific într-o manieră imperturbabilă și îndărătnică, rămînînd pe calea ce mi-o dictează instinctul. Cred că calea pur statistică, în ciuda succeselor ei importante, nu este cea bună.“ (A. Einstein /12/, pag. 208.) Apreciind „teoria statistică a cuantelor“ ca incompatibilă cu „principiul după care fizica trebuie să reprezinte o realitate în spațiu și timp, fără acțiuni fantomatice la distanță“, Einstein îi scria lui Besso : „Dar sînt acum absolut convins că vom sfîrși prin a ajunge la o teorie ale cărei obiecte legate prin legi nu vor fi probabilități, ci ceea ce socotim a fi fapte, cum se considera drept sigur încă nu de mult. Dar nu pot să dau acestei convingeri nici o explicație logică, ci numai să invoc mărturia degetului meu mic...“ (Vezi A. Einstein /12/, pag. 174.)

[34] „Există ceva de felul 'stării reale' a unui sistem fizic, care există în mod obiectiv, independentă de orice observație sau măsurare, și poate fi descrisă, în principiu, cu mijloacele de exprimare ale fizicii.“ (A. Einstein /9/, pag. 6.)

Examinarea de pe poziția detașată a istoricului a celebrei controverse dintre Einstein și Bohr arată clar că tocmai supoziții filosofice incompatibile, ce stau la baza gîndirii științifice a protagoniștilor, sînt cele care constituie sîmburele tare, ireductibil al divergențelor și zădărnicesc forța constrîngătoare a argumentelor tehnice. Să considerăm, din acest punct de vedere, articolul *Einstein-Podolski-Rosen* din 1935 (prescurtat E.R.P.) și răspunsul lui Bohr. Cum observam mai sus, argumentarea din primul articol este foarte strînsă și cititorul nu se poate sustrage forței ei probante odată ce acceptă premisele filosofice formulate în partea lui introductivă. Bohr a respins concluzia E.R.P. cu privire la caracterul incomplet al descrierii realității fizice în mecanica cuantică, într-un articol de răspuns destul de tehnic (publicat în Physical Review, 48, 1935) care nu lasă să se înțeleagă, la prima vedere, că fondul controversei este filosofic. La o privire mai atentă devine însă clar că Bohr reușește să dea o interpretare diferită acelorași experimente mintale (se consideră o particulă sau două particule care trec printr-o fantă și produc efecte pe un ecran), propuse în primul articol, în măsura în care se detașează de filosofia autorilor lui. La această concluzie ajung, de fapt, toți comentatorii calificați ai controversei, chiar dacă îi dau formulări foarte diferite. Bohr însuși se raportează în mod simptomatic la E.R.P., apreciind că acest text arată cît de „inadecvate sînt concepțiile curente ale filosofiei naturii pentru explicarea rațională a fenomenelor fizice descrise de teoria cuantică". (Citat după N. Rosen, pag. 66.)[35]. Bohr contestă concluzia că descrierea realității fizice în mecanica cuantică este incompletă, atacînd criteriul realității fizice formulat în E.R.P., pe care se întemeiază această concluzie. Dat fiind că la nivel atomic interacțiunea dintre sistemul fizic supus măsurării și dispozitivele experimentale capătă un caracter esențial, aceste dispozitive vor intra „în descrierea oricărui fenomen, căruia i se poate atribui în mod convenabil termenul de 'realitate fizică' ". (Citat după N. Bohr /7/, pag. 81.)

Pornind de la cele spuse în prezentarea făcută interpretării standard, obiecțiile lui Bohr la adresa criteriului realității fizice adoptat de Einstein ar putea fi formulate în felul următor. Principial vorbind, orice determinare experimentală a caracteristicilor de stare ale unui sistem fizic implică o interacțiune între sistem și dispozitivele de măsurare. Această interacțiune este tot atît de reală ca și sistemul fizic supus observației și măsurării. Dacă examinăm deci lucrurile în principiu, sîntem îndreptățiți să spunem că orice enunț cu privire la caracteristicile de stare ale unui sistem primește un sens fizic (adică devine obiectiv controlabil) numai pe baza unei asemenea interacțiuni. A vorbi despre caracteristicile de stare pe care le are sistemul fizic independent de observații și măsurători, și deci de interacțiunile fizice pe care le implică acestea, înseamnă a formula enunțuri care nu sînt principial controlabile, altfel spus, enunțuri care nu aparțin fizicii, ci metafizicii[36]. Dacă discutăm acum lucrurile din punct de vedere practic, vom constata că efectele acestei interacțiuni sînt mici și deci neglijabile ori de cîte ori obiectul observației și al măsurării este un sistem macroscopic constituit dintr-un număr foarte mare de atomi. Deși recunoaștem de drept existența interacțiunii, putem în fapt să facem abstracție de consecințele ei și să vorbim de caracteristicile pe care le are sistemul independent de efectele observării și măsurării. În fizica clasică, unde nu intervin decît asemenea situații, realitatea fizică poate fi concepută ca o realitate obiectivă, nu numai în sensul independenței ei de subiect, ci și de natura dispozitivelor de observare și măsurare alese de cercetător. Acest concept clasic al realității fizice nu trebuie totuși confundat cu conceptul de realitate fizică în general. (Modul în care formulează Einstein criteriul realității fizice este tocmai rezultatul unei asemenea confuzii, sugerează Bohr.) Criteriul clasic al realității fizice ar putea fi deci caracterizat drept o idealizare justificată în condiții determinate, ce pot fi indicate de experiență. Dezvoltarea fizicii atomice moderne a făcut posibilă stabilirea limitelor în cadrul cărora este aplicabilă această idealizare. Caracteristicile de stare ale unei microparticule nu sînt independente de natura ambianței fizice în care se găsește ; ele se modifică în interacțiunea cu această ambianță, în particular, în interacțiunea cu dispozitivele experimentale. Dacă nu putem determina, în cazul unei microparticule, toate caracteristicile ce descriu starea sistemului în fizica clasică, aceasta nu dovedește că descrierea mecanic-cuantică a realității este incompletă, ci, pur și simplu, că existența fizică a unora din aceste caracteristici depinde de anumite dispozitive experimentale, existența fizică a altor caracteristici de alte dispozitive experimentale, iar aceste dispozitive sînt complementare. Bohr respinge astfel criteriul de realitate al lui Einstein în principiu și îi contestă, totodată, valabilitatea practică în cazul sistemelor studiate de fizica atomică. Esența argumentării lui Bohr este redată clar și fidel de N. Rosen : „După părerea lui, elementele realității sînt

---

[35] M. Jammer /2/, p. 193) a reprodus pentru prima dată o scrisoare din 1938 adresată de Podolsky editorului revistei *The Physical Review* în care acesta spune textual că răspunsul lui Bohr se sprijină pe un punct de vedere în totală contradicție cu criteriul realității fizice, formulat în E.R.P. „Dacă existența independentă a realității fizice nu este acceptată, nu mai există o bază comună pentru discuție. Mai mult, întrebarea din titlul articolului nostru își pierde sensul."

[36] În acest sens trebuie înțeleasă, cred, remarca pe care o face Pauli după discuțiile lui cu Einstein, din 1954, că vorbind despre caracteristicile pe care le are un sistem fizic independent de actul observării și măsurării lui, Einstein formulează, de fapt, o problemă metafizică, și anume „problema de a ști dacă există ceva despre care nimeni nu poate să știe nimic". (Vezi M. Born /6/, pag. 238.) În comentariul său, Born scrie că Einstein „persistă să pretindă ca teoria să răspundă la întrebări de tipul 'Cîți îngeri pot să stea pe un vîrf de ac?'

Căci, la aceasta revine, cum arată foarte bine Pauli, teza după care o stare fizică trebuie să existe în mod obiectiv, în mod real, chiar dacă nu o putem determina în principiu ; și, că o teorie care pretinde contrariul este incompletă..." (M. Born /6/, pag. 239.)

determinate într-un sistem dat de dispozitivele experimentale alese pentru cercetarea sistemului. Dispozitivele experimentale determină rezultatele posibile ale măsurătorilor și structurează, prin aceasta, realitatea într-un mod care corespunde rezultatelor posibile. Dacă am ales un aparat pentru măsurarea poziției unei particule, atunci această poziție este un element al realității, în timp ce impulsul nu este un asemenea element, și invers. Bohr consideră că descrierea mecanic-cuantică este completă fiindcă ea cuprinde pe deplin măsurătorile posibile într-o anumită situație, adică dispozitivele experimentale." (N. Rosen, pag. 68—69.)[37] Bohr însuși, nemulțumit de modul cum și-a formulat poziția în articolul său din 1935, a caracterizat mai tîrziu, intenția argumentării sale astfel: ,,Argumentarea dorea să scoată în evidență ambiguitatea esențială implicată în orice referire la atributele fizice ale obiectelor, în cazul fenomenelor în care nu poate fi făcută distincția netă între comportarea obiectelor însele și interacțiunea lor cu instrumentele de măsură." (N. Bohr /7/, pag. 82.)

Independent de claritatea cu care este formulat, înțelegerea punctului de vedere propus de Bohr nu poate fi realizată fără mari dificultăți, datorită incompatibilității sale cu obișnuințe profund înrădăcinate ale gîndirii comune. Ideea că proprietățile unui segment de realitate ce constituie obiectul cercetării fizice sînt obiective nu numai în sensul că nu depind de presupunerile și dorințele cercetătorului, de subiectul cunoscător în general, dar nici de modul cum îl observăm și îl măsurăm, de instalațiile folosite în acest scop, este o *evidență* sau chiar o *necesitate a gîndirii*, pentru a folosi jargonul filosofiei profesorale, tocmai datorită confirmării ei îndelungate atît în practica cunoașterii comune, cît și în practica cercetării științifice. Evidența acestei idei, ca și a altor idei comune, de altfel, ține exclusiv de faptul că este în mod sistematic în acord cu întreaga noastră experiență. O binecunoscută și mult comentată reflecție a lui Lenin mi se pare, în acest sens, sugestivă : „...activitatea practică a omului a trebuit să pună de miliarde de ori conștiința umană în situația de a repeta diferitele figuri logice pentru ca aceste figuri să poată căpăta semnificația unor axiome". (V. I. Lenin /2/, pag. 161.) Conceptul neclasic al realității fizice, care a luat ființă prin strădania membrilor grupului de la Copenhaga de a da o interpretare fizică noii teorii, de a explica marele succes al formalismului ei matematic în coordonarea, unificarea și predicția unei mari varietăți de fapte experimentale din domeniul fizicii atomice, contravine unei tendințe spontane, am zice „naturale", a gîndirii noastre, constituită și consolidată pe baza experienței curente, și atrage după sine, în mod inevitabil, revizuirea totală a principiilor tradiționale ale explicației fizice.

---

[37] Iată și concluzia semnificativă a altui comentator: ,,Singurul răspuns care a fost posibil la propunerea E.R.P. este observația că mecanica cuantică este atît de completă cît este posibil, ținînd seama de posibilitățile noastre de măsurare (să numim această realitate măsurabilă R.M.). Astfel, mecanica cuantică va fi incompletă după criteriul E.R.P., dar completă după criteriul R.M." (H. Erlichson, pag. 360.)

Cîțiva mari fizicieni creatori ai secolului nostru, minți de factură clasică și, în același timp, oameni cu o puternică personalitate intelectuală și o remarcabilă forță de caracter, în primul rînd Einstein și Schrödinger, au considerat că nimic nu poate să justifice un asemenea pas. Anumite presupoziții de ordin general, o anumită concepție asupra realității fizice și asupra condițiilor generale ale descrierii și explicației științifice sînt, după ei, premise necesare, care trebuie să fie în prealabil asumate, pentru ca știința exactă, ca întreprindere de cunoaștere, să devină posibilă. Știința exactă încetează să mai existe odată ce aceste premise sînt puse în discuție. Transpusă în termeni epistemologici, poziția lui Einstein și Schrödinger ar putea fi caracterizată ca *raționalistă, necesitaristă* și *absolutistă*. Punctul lor de vedere, care nu a fost desigur dezvoltat niciodată în mod sistematic, ca poziție epistemologică, era că există condiții și criterii absolute ale științei exacte, care au o valoare universală. Am prezentat și discutat, sub acest aspect, îndeosebi anumite luări de poziție ale lui Einstein. Atitudinea lui Schrödinger a fost, poate, și mai netă. Marele fizician austriac, care s-a distins chiar printre colegii din generația lui prin preocupări filosofice și umaniste profunde și cuprinzătoare, caracteriza concepția despre lume a științei moderne, o situare a spiritului descoperită, după părerea lui, încă de greci, prin două trăsături fundamentale : a) presupunerea că fenomenele naturii pot fi înțelese, pot fi făcute inteligibile ; b) eliminarea din tabloul lumii a subiectului cunoscător, care se retrage în rolul unui observator extern („obiectivarea"). Aceste două presupoziţii nu pot fi despărţite ; ele formează un întreg. „Pe scurt : inteligibilitatea este răscumpărată cu preţul ca subiectul să se retragă, ceea ce face posibilă obiectivarea." (E. Schrödinger /3/, pag. 207.) Schrödinger gîndea aceste condiţii ca un ideal imuabil care nu se poate perima. Este inutil să adaug că, pentru el, teoria statistică a cuantelor nu satisfăcea acest ideal ; teoria contravine atît condiţiei inteligibilităţii, cît şi condiţiei obiectivităţii descrierii fizice şi, prin urmare, trebuie considerată inacceptabilă din raţiuni de ordin principial, care nu pot fi puse în nici un fel la îndoială. Schrödinger a fost, în această privinţă, tot atît de categoric şi inflexibil ca şi Einstein, încă în primii ani după elaborarea interpretării standard. Iată cum se exprima el în expunerea pe care a făcut-o cu ocazia primirii Premiului Nobel pentru fizică, în decembrie 1932 : „Principial, cerinţa că ştiinţa exactă trebuie să năzuiască spre descrierea a ceea ce poate fi în mod real observat nu este nouă. Întrebarea este doar dacă va trebui să renunţăm de acum înainte să legăm, ca pînă acum, descrierea cu o ipoteză clară asupra felului cum este structurată în realitate lumea. Mulţi vor să proclame deja azi această renunţare. Dar eu cred că prin aceasta ne uşurăm prea mult sarcina." (E. Schrödinger /1/, p. 35.)

Semnificaţia epistemologică generală a situării filosofice cuprinse în interpretarea la care a aderat majoritatea fizicienilor teoreticieni, interpretare elaborată îndeosebi de Bohr, Heisenberg şi Pauli, ar putea fi calificată, dimpotrivă, drept *empiristă* şi *critică*. Ea poate fi exprimată spunînd că nu numai conceptele şi ideile ştiinţifice specifice, dar şi presupoziţiile filosofice fundamentale, în general latente, dar active ale ştiinţei exacte, cerinţe ce pot fi resimţite ca norme ale descrierii şi ale explicaţiei ştiinţifice, drept criterii ale „raţiunii ştiinţifice" în genere, sînt supuse şi ele controlului experienţei. Poziţia epistemologică a criticilor mecanicii cuantice ar putea fi caracterizată ca *aprioristă*, într-un sens slab, nu tare, kantian, al cuvîntului, iar cea a apărătorilor ei drept *holistă*. Termenii sugerează că susţinătorii primei poziţii acordă supoziţiilor filosofice latente şi principiilor fundamentale ce conduc cercetarea teoretică o poziţie aparte, privilegiată, în timp ce reprezentanții celei de a doua le pun pe același plan cu celelalte elemente ce constituie corpul cunoașterii științifice distingîndu-le numai din punct de vedere pragmatic, din punctul de vedere al rolului și funcțiilor lor în sistemul cunoașterii[38].

Această interpretare epistemologică sau transpunerea discuției în termenii unei teorii generale a cunoașterii nu mi se pare lipsită de interes în măsura în care poate favoriza o mai bună înțelegere a surselor dezacordului. Dacă ne plasăm în mod consecvent într-o asemenea perspectivă, argumentarea lui Einstein și Schrödinger (iar după 1950 și argumentarea lui de Broglie, precum și a altor fizicieni care au elaborat teorii cu parametri ascunși în fizica atomică) ar putea fi redusă, eventual, în cele din urmă, la următoarele considerații: mecanica cuantică nu satisface condiții minime, elementare pentru orice teorie științifică ; teoria nu oferă o descriere a evenimentelor atomice așa cum se desfășoară ele, independent de efectele perturbatoare produse prin actele de observație și de măsurare ; descrierea mecanic-cuantică încalcă principiul continuității spațio-temporale, al acțiunii din aproape în aproape și este ca atare, lipsită de inteligibilitate și de orice sens rațional ; în sfîrșit, teoria renunță, în principiu, la descrierea caracteristicilor de stare ale sistemelor individuale în spațiu și timp, acordînd probabilităților, care pot fi utilizate într-o teorie fizică numai pentru a compensa cunoașterea insuficientă a acestor caracteristici de stare, o semnificație fundamentală și ireductibilă. Concluzia ce decurge în mod firesc dintr-o asemenea raportare a realității științifice la norme este că mecanica cuantică trebuie considerată un instrument de lucru imperfect și provizoriu, adoptat în lipsă de ceva mai bun, pentru nevoi de unificare, calcul și predicție ale faptelor experimentale, instrument ce urmează să fie înlocuit, mai devreme sau mai tîrziu, printr-o teorie care va asigura o descriere și o explicație satisfăcătoare ale realității fizice. Toate forțele teoreticienilor trebuie concentrate în direcția elaborării unei teorii a fenomenelor atomice care să satisfacă exigențele elementare formulate mai sus. Numai o asemenea teorie va putea fi socotită drept un pas înainte în elaborarea tabloului fizic al lumii, ca o contribuție veritabilă la dezlegarea „misterului cuantelor". Replica epistemologică a creatorilor interpretării standard la această argumentare și la concluziile ei ar putea fi formulată în următorii termeni : exigențele criticilor mecanicii cuantice nu sînt norme cu valoare absolută, pe care este ținută să le satisfacă orice teorie fizică, ci caracteristici ale descrierilor și explicațiilor fizice de tip clasic ; limitele aplicabilității reprezentărilor generale despre condițiile unei teorii fizice satisfăcătoare, generate oarecum spontan prin considerarea celor mai reușite teorii ale momentului, pot fi indicate numai de experiența științifică a viitorului ; progresele cele mai însemnate în cunoașterea naturii pot produce schimbări radicale nu numai în conceptele și principiile ce constituie *conținutul* descrierii teoretice, ci chiar și în *forma* acestei descrieri, în principiile cunoașterii fizice, în criteriile inteligibilității descrierii și explicației teoretice ; aceste criterii, care ne pot apărea drept norme ale inteligibilității și raționalității în general, nu sînt, în realitate, decît cristalizări ale unor experiențe științifice determinate, istoricește condiționate ; în principiu, trebuie deci să fim pregătiți să le examinăm critic și să le determinăm limitele în lumina unor experiențe noi și fundamentale ; în domeniile cele mai evoluate ale științei exacte dinamismul neîngrădit al conceptelor și reprezentărilor teoretice încetează să fie compatibil cu un imobilism, fie el instinctiv sau justificat în mod doctrinar, în planul criteriilor și al reprezentărilor metateoretice ; lipsa de dorință sau incapacitatea de a modifica aceste criterii pot deveni, în anumite perioade critice, excepționale, ce survin în progresiunea preponderent lină, cumulativă a științei exacte, obstacole în calea progresului cunoașterii ; mecanica cuantică nu este o provocare la adresa rațiunii în general, a rațiunii scrise cu majuscule, ci la adresa criteriilor clasice ale inteligibilității și raționalității descrierii teoretice în fizică.

---

[38] O tematizare epistemologică a acestor două poziții, pe care cercetătorii implicați în marea controversă asupra sensului fizic al mecanicii cuantice le-au adoptat oarecum spontan, instinctiv, poate fi întîlnită în concepțiile reprezentative pentru raționalismul de factură neoclasică, care exaltă criterii imuabile, anistorice ale științificității — teoria metodei științei a lui K. R. Popper este probabil, astăzi, cea mai bună ilustrare a acestei tendințe — și, respectiv, pentru viziunea holistă, de inspirație dialectică, asupra cunoașterii dezvoltată, de exemplu, în filosofia lui F. Gonseth sau W. V. Quine.

Desigur, toate acestea nu au fost spuse, în acest fel, de creatorii și susținătorii proeminenți ai interpretării standard a mecanicii cuantice. Ca fizicieni teoreticieni, ca cercetători profesioniști, ei s-au străduit să facă filosofia mecanicii cuantice, și nu filosofia cunoașterii în general. (Chiar faptul că filosofia mecanicii cuantice a ocupat un loc atît de mare în preocupările lor se datorează, în bună măsură, opoziției intransigente a unor fizicieni teoreticieni cu cel mai înalt prestigiu față de noua teorie.) În general, și cu deosebire în lucrări destinate publicării, ei evitau să înainteze prea mult în cîmpul epistemologiei generale, pe care păreau să-l considere drept un domeniu legitim de exercitare al filosofilor profesioniști. Reflecțiile lor filosofice nu erau niciodată complet detașate de contextul preocupărilor de teorie și metateorie a fizicii. Există totuși indicații că aserțiuni ca cele de mai sus exprimă ceva dintr-un strat adînc, în mare măsură latent, al gîndirii lor, care alimenta reacțiile lor față de criticii mecanicii cuantice.

Să examinăm mai întîi, din acest punct de vedere, poziția lui Bohr. Gînditor profund, cu pronunțate preocupări și interese intelectuale largi, Bohr a fost în același timp cel mai enigmatic dintre filosofii teoriei cuantelor. Reținerea lui față de aprecieri filosofice de mare anvergură nu a slăbit cu trecerea anilor, cum se poate constata foarte bine în articolul consacrat discuțiilor sale cu Einstein (Vezi N. Bohr /7/.) Situările și reacțiile lui Bohr erau însă evident inspirate de o viziune filosofică generală pe care Heisenberg a exprimat-o, mai tîrziu, astfel : „Dar nu trebuie, în același timp, să pierdem din vedere că odată cu dezvoltarea istorică se schimbă și structura gîndirii omenești. Progresul științei se realizează nu numai prin aceea că noi cunoaștem și înțelegem noi fapte, ci și prin aceea că învățăm mereu, din nou, ce semnificație poate să primească cuvîntul 'înțelegere' *(Verstehen).*" (W. Heisenberg /9/, pag. 173.) Mi se pare că Heisenberg surprinde aici un motiv de profunzime, revelator pentru atitudinea generală a grupului de la Copenhaga. Ideea că odată cu progresul gîndirii științifice sîntem puși în situația de a examina critic și de a reconsidera unele din supozițiile adînci ale concepţiei noastre asupra naturii şi asupra ştiinţei considerate pînă atunci ca ceva de la sine înţeles, că pe măsură ce ştiinţa progresează sînt puse în discuţie cadre tot mai generale în care se mişcă gîndirea noastră, obişnuinţe intelectuale tot mai profund înrădăcinate, pare să fi fost o dominantă a gîndirii lui Bohr [39]. Ea răzbate şi în repetata invocare a exemplului einsteinian : reexaminînd şi revizuind idei venerabile care stăteau la baza filosofiei naturii şi a ştiinţei naturii, cum sînt cele de mişcare, spaţiu şi timp, Einstein ar fi arătat că progresul ştiinţific poate şi trebuie să afecteze temelii ale gîndirii pe care multe generaţii le-au putut considera de neclintit. Fapta lui Einstein i-ar fi încurajat pe fizicieni să tragă concluzii radicale din experienţele cu totul noi pe care le-a permis accesul în lumea atomului. Reconsiderarea reprezentărilor clasice asupra realităţii fizice, asupra continuităţii spaţio-temporale sau a determinismului, reconsiderări care au făcut posibilă corelarea coerentă, sistematică a datelor experimentale cu formalismul mecanicii cuantice, nu ar fi decît paşi înainte pe calea deschisă de Einstein. „Cu toate diferenţele pe care le prezintă — scrie Bohr —, problemele pe care le pun teoria relativităţii şi teoria cuantică sînt fundamental asemănătoare. În ambele cazuri, noi întîlnim legi fizice care ies din domeniul experienţei noastre obişnuite şi care izbesc formele noastre obişnuite de intuire. Noi constatăm că aceste forme de intuire sînt *idealizări*, a căror utilitate pentru coordonarea percepţiilor sensibile se sprijină pe propagarea practic instantanee a luminii şi pe micimea cuantei de acţiune." (N. Bohr /4/, pag. 4—5.)

Această temă a fost reluată şi dezvoltată de către Born. Iată una din exprimările lui caracteristice : „Recunoaşterea faptului că descoperirea legilor cuantice constituie, totodată, sfîrşitul acelui determinism strict, care e o trăsătură esenţială a fizicii clasice, este, ca atare, de mare importanţă filosofică. După ce teoria relativităţii a schimbat concepţia noastră despre spaţiu şi timp, acum trebuie să fie supusă schimbării încă una din categoriile kantiene, şi anume conceptul de cauzalitate. Caracterul *a priori* al acestor categorii nu mai poate fi menţinut. Dar, bineînţeles, aceasta nu înseamnă că aceste principii dispar pur şi simplu ; ele vor fi înlocuite prin ceva nou. În ce priveşte spaţiul şi timpul, acest ceva nou constă din legile geometriei cvadridimensionale a lui Minkowski. Pentru conceptul de cauzalitate, există de asemenea un concept mai general, supraordonat, şi anume acela de probabilitate. Necesitatea este un caz particular al probabilităţii : ea este o probabilitate de 100%." (M. Born /6/, pag. 68—69.) În încercările sale de a justifica atitudinea ireverenţioasă a fizicii cuantice faţă de supoziţii-cadru ale gîndirii fizice tradiţionale, Born invoca nu numai filosofia implicată în opera ştiinţifică revoluţionară a lui Einstein, ci şi reflecţiile sale ocazionale cu privire la însemnătatea pe care o are disponibilitatea cercetătorului de a examina critic, în lumina noilor experienţe, „evidenţele gîndirii", conceptele şi ideile cele mai familiare.

---

[39] În acest sens, filosofia holistă a cunoaşterii ne apare ca o elaborare şi justificare epistemologică ale opţiunilor teoretice şi metateoretice ale grupului de la Copenhaga, în timp ce realismul şi raţionalismul popperian pot fi privite şi ca o încercare de elaborare sistematică a convingerilor, în mare parte „instinctive", care au determinat atitudinea lui Einstein şi Schrödinger faţă de interpretarea standard a mecanicii cuantice.

Atît în corespondenţa cu Einstein, cît şi în unele din publicaţiile sale, Born a judecat atitudinea negativă a lui Einstein faţă de mecanica cuantică cu o asprime pe care o făceau posibilă relaţiile lor prieteneşti deosebit de strînse. (Prin contrast, Bohr, care nu a avut raporturi personale atît de apropiate cu Einstein, a evitat aprecieri mai categorice.) Born a evaluat, în cele din urmă, această atitudine drept o trădare a crezului filosofic din tinereţe al lui Einstein[40]. El mărturiseşte, în comentariile pe care le-a scris în jurul anului 1965, pe marginea corespondenţei lui cu Einstein, că nu a înţeles mult timp adevărata raţiune a poziţiei marelui fizician faţă de mecanica cuantică fiindcă nu putea concepe că acesta și-ar fi renegat principiile filosofice din tinerețe. (Vezi M. Born /6/, pag. 239.) În scrisorile ce discută dezacordul lor în problema cuantelor, Born ia adesea ca punct de plecare în argumentare ceea ce el consideră a fi elementul central al filosofiei tînărului Einstein, punctul de vedere că toate conceptele și ideile noastre, chiar principiile regulative de cel mai înalt nivel de generalitate, sînt supuse controlului experienței. Referindu-se la un principiu căruia Einstein îi atribuia o valoare normativă absolută și anume că „fizica trebuie să reprezinte o realitate în spațiu și timp, fără acțiuni fantomatice la distanță“, Born replica : „Și eu am considerat aceasta drept un postulat care revendică o valoare absolută ; dar faptele curente ale experienței m-au învățat că această exigență nu este nici ea un principiu *a priori,* ci, dimpotrivă, o regulă supusă probei timpului, care poate și trebuie să fie înlocuită cu alta, mai generală.“ (M. Born /6/, pag. 175.)

---

[40] „Ideea conducătoare a lui Einstein poate fi exprimată simplu astfel : ceva care, deşi poate fi gîndit şi despre care se poate forma un concept, dar care, datorită propriei sale esenţe nu poate fi supus unui examen experimental (cum ar fi simultaneitatea unor evenimente în locuri deosebite), nu are nici un sens fizic. Efectele cuantice arată că aceasta este adevărat pentru multe concepte din fizica atomică, dar Einstein a refuzat să aplice criteriul său la aceste cazuri." (M. Born /5/, pag. 253.)

Aceasta este într-adevăr o foarte bună exprimare a supozițiilor de ordin epistemologic care i-au despărțit, în ultimă instanță, pe susținătorii și criticii interpretării standard a mecanicii cuantice. Sugestia lui Born că atitudinea lui Einstein față de mecanica cuantică reprezintă o abatere de la principii epistemologice pe care le-a susținut fără rezerve în tinerețe și le-a aplicat în mod consecvent în activitatea sa științifică, pînă în jurul anului 1920, invită la unele comentarii. Dacă adoptăm un punct de vedere foarte larg, liberal, asupra criteriilor științei exacte, punct de vedere care stă, de fapt, la baza raționamentelor și aprecierilor lui Born, și interpretăm pornind de la acest punct de vedere considerațiile lui Einstein despre necesitatea justificării empirice a tuturor „evidențelor raționale“, vom fi constrînși să admitem că Einstein nu a fost consecvent cu aceste considerații, că rațiunile profunde ale opoziției sale față de mecanica cuantică nu pot fi justificate în lumina filosofiei pe care a formulat-o în articolul său omagial despre Mach, din 1916.

Lucrurile pot fi considerate însă și dintr-o altă perspectivă, care ne permite să înțelegem mai bine logica internă a poziției lui Einstein și Schrödinger. Activitatea fizicianului modern, judecățile și aprecierile lui sînt orientate spontan de o reprezentare generală, de imaginea lui asupra a ceea ce este și trebuie să fie știința exactă. El nu se străduie prea mult să-și clarifice și să-și expliciteze această „imagine“, atît timp cît nu are motive serioase să o facă. Aceasta nu înseamnă însă că nu va putea distinge clar în lumea ideilor și a construcțiilor teoretice ceea ce ține și respectiv nu ține de știința exactă. Ce se va întîmpla acum dacă în știință vor apărea noi sisteme teoretice, care nu sînt compatibile, sub unele aspecte esențiale, cu imaginea lui asupra științei exacte, și dacă acestea vor cîștiga, în cele din urmă, adeziunea majorității specialiștilor, și în primul rînd a unora care se bucură de o reputație deosebită ? Ce atitudine va adopta cercetătorul nostru ? Răspunsul este că atitudinea lui va fi condiționată de mai mulți factori : de profunzimea atașamentului său față de o anumită reprezentare asupra condițiilor minime ale științei exacte, care variază în funcție de rolul pe care l-au avut convingerile filosofice în orientarea de pînă atunci a activității sale științifice, de convergența sau divergența învățămintelor generale pe care le-a desprins din experiența lui de cercetare, de intensitatea presiunii pe care o exercită opinia științifică dominantă, de rangul său științific. Fizicienii din noua generație sau chiar fizicienii din generații mai vechi cu convingeri filosofice mai puțin ferme se adaptează relativ ușor unei schimbări de viziune, cum a fost cea pe care a implicat-o acceptarea și însușirea interpretării standard a mecanicii cuantice. Alta va fi însă situația unor fizicieni teoreticieni de primă mărime, profund motivați filosofic, a căror încredere în idealurile științifice tradiționale se întemeiază pe experiențe științifice semnificative și a fost confirmată de succese științifice personale deosebite și general recunoscute. Ei sînt puși în fața unei alegeri deosebit de grele. Situația lor pare oarecum dilematică, în sensul că nici una din alternativele care le stau la dispoziție nu pot fi adoptate fără renunțări grave. Salvgardarea identității sau a personalității lor intelectuale și științifice nu mai este acum posibilă decît cu prețul izolării în comunitatea specialiștilor. Unii dintre acești oameni, chiar dintre cei mai mari, acesta a fost, cred, cazul lui Planck, von Laue și pentru mulți ani al lui de Broglie, rămînînd în esență fideli unei concepții bine consolidate, au adoptat o poziție rezervată față de noua teorie a cuantelor, abținîndu-se să semnaleze și să discute incompatibilitatea ei cu idealul lor științific. Motivele opțiunii pentru asemenea atitudine de expectativă, în ultimă instanță de compromis, pot fi diferite. Pe primul plan poate sta, fie dorința de a evita o prea mare înstrăinare față de colegi, fie impresia că un dezacord public și persistent între specialiști recunoscuți ar putea submina prestigiul științei exacte în ochii publicului mai larg, fie sentimentul că eforturile și frustrările pe care le implică o confruntare frontală cu opinia dominantă nu vor fi în cele din urmă răsplătite și nu pot fi, deci, justificate. Dintre marii fizicieni teoreticieni ai epocii, Einstein și Schrödinger au fost singurii care nu au dat înapoi în fața acestor riscuri. Este greu de spus dacă incandescența convingerilor lor filosofice sau o tărie neobișnuită de caracter sînt cele care i-au împins să înfrunte consecințele oricum dureroase ale unei izolări științifice crescînde și să accepte, cu seninătate sau resemnare, presupunerile puțin măgulitoare ale tinerei generații de fizicieni că vîrsta îi împiedică să mai țină pasul cu progresele gîndirii științifice. Curajul lor personal merită, fără îndoială, să fie admirat, dar nu trebuie să pierdem din vedere că el era susținut de conștiința logicii ireproșabile a atitudinii pe care au adoptat-o.

Într-adevăr, este greu să ne închipuim că Einstein s-ar fi putut considera vinovat de vreo inconsecvență formală în raport cu principiul filosofic potrivit căruia toate ideile științifice trebuie supuse controlului experienței. În general, bănuielile noastre despre ceea ce au crezut și au gîndit alți oameni nu merită o atenție prea mare. Există însă împrejurări în care cunoașterea logicii interne a situației ne permite totuși să spunem ceva plauzibil. Este de presupus că lui Einstein poziția intransigentă față de mecanica cuantică îi apărea ca expresia unei atitudini filosofice clare, ferme, lipsite de ambiguitate, și nicidecum ca o manifestare de conservatorism. Căci cele mai strălucite dintre realizările științifice ale lui Einstein reprezintă în același timp detașări critice față de idei și concepte cu adînci rădăcini istorice, și o reafirmare a principiilor tradiționale ale cunoașterii fizice, în primul rînd a principiului obiectivității descrierii fizice și a principiului determinismului. Pentru Einstein sau Schrödinger asemenea principii stăteau pe un plan diferit față de idei fizice cît de fundamentale, cum sînt, de exemplu, cele asupra spațiului și timpului. Ultimele țin totuși de domeniul ideilor teoretice, pe cînd primele sînt exigențe metateoretice. Anumite criterii generale ale științei teoretice, aceasta era probabil convingerea lor spontană, trebuie să supraviețuiască chiar celor mai profunde restructurări și transformări în conținutul propriu-zis al științei teoretice. Einstein, bunăoară, avea temeiuri să creadă că persistența îndelungată a reprezentărilor newtoniene despre un spațiu și timp absolute în gîndirea fizică este tocmai consecința unei lipse de consecvență în aplicarea principiului că toate conceptele fizice trebuie să fie justificate prin controlul experimental al consecințelor ce pot fi derivate din ele. (Pentru o dezvoltare largă a acestui punct de vedere vezi Ph. Frank /1/.) El nu putea vedea însă în ce fel ar fi putut să constituie situarea sa critică față de concepte tradiționale ale mecanicii un precedent pentru situarea lui față de mecanica cuantică. Logica atitudinii lui Einstein se întemeia pe presupunerea spontană că atitudinea critică față de ideile și teoriile fizice, oricît ar fi ele de fundamentale, și oricît de numeroase și importante ar fi fost succesele științifice obținute pe baza lor, nu poate fi extinsă pur și simplu asupra principiilor regulative ce susțin concepția noastră asupra științei. În ochii lui Einstein, abandonarea acestor principii însemna de fapt renunțarea la știința teoretică în sensul nobil, superior al termenului. Numeroase exprimări ale lui, ca și ale lui Schrödinger, cum sînt cele menționate pînă acum, sînt concludente din acest punct de vedere. Chiar dacă ar fi manifestat cea mai mare bunăvoință și receptivitate față de critică, Einstein nu ar fi putut recunoaște o analogie între temeiurile criticilor teoriei relativității și ale criticii pe care a făcut-o el mecanicii cuantice, analogie sugerată adesea de apărătorii interpretării standard. Din punctul lui de vedere, criticii teoriei relativității pornesc de la supoziții dogmatice, incompatibile cu principiile fundamentale ale cercetării obiective a naturii, în vreme ce opoziția față de considerarea mecanicii cuantice drept o descriere completă a realității fizice era inspirată tocmai de fidelitatea față de aceste principii.

La nivelul unei analize retrospective, din perspectivă epistemologică, punctul de vedere al lui Einstein și Schrödinger nu poate fi desigur apărat, dacă presupunem că se întemeiază pe o distincție netă între forma și conținutul cunoașterii fizice, pe convingerea spontană că anumite exigențe sau norme tradiționale ale descrierii și explicației fizice, cum sînt principiul obiectivității descrierii, a determinismului sau separabilității, au o valoare absolută, cu alte cuvinte, nu sînt supuse în principiu reevaluării în lumina noii experiențe fizice. Se cuvine totodată să fie subliniat că deși, sub acest aspect general epistemologic, principiile regulative ale cercetării pot fi considerate ca fiind pe același plan cu conceptele și legile fizice, „justificarea lor empirică“ se realizează în moduri sensibil diferite. Chiar necesitatea schimbării unor concepte și teorii fizice fundamentale nu este indicată în mod direct, nemijlocit de experiența științifică, cum a arătat chiar Einstein. (Vezi, de exemplu, A. Einstein /7/, pag. 8—9.) Baza teoretică existentă poate să fie întotdeauna adaptată noilor descoperiri experimentale prin introducerea unor presupoziții auxiliare, *ad hoc*. Pe măsură ce introducerea unor asemenea adăugiri va complica cît mai mult sistemul existent și îl va face tot mai „artificial“, un nou sistem teoretic se va putea impune prin „naturalețea“ lui, prin capacitatea de a asigura o unificare de o simplitate și coerență superioare a tuturor faptelor cunoscute și, bineînțeles, prin capacitatea lui de a permite formularea unor predicții reușite despre fapte noi. În acest mod indirect, noile date ale experienței pot să indice, fără echivoc, superioritatea unui nou sistem teoretic asupra sistemului teoretic consacrat. Despre un control al experienței asupra principiilor regulative ale cercetării se poate vorbi numai într-un sens mult mai slab și indirect al cuvîntului. Noua experiență științifică nu ne constrînge să modificăm criteriile de excelență ale cunoașterii teoretice în același fel în care ne constrînge să înlocuim un sistem de concepte cu altul. Supozițiile-cadru ale cunoașterii fizice se justifică, în cele din urmă, prin performanțele cognitive ale teoriilor ce se dezvoltă în cadrul lor, prin capacitatea acestora de a ordona în mod „simplu“ și „natural“ datele experienței. O competiție între programe metateoretice rivale, între reprezentări distincte și incompatibile asupra exigențelor minime ale descrierii și explicației teoretice în știința exactă se poate întinde pe o perioadă mult mai lungă de timp decît competiția între două sisteme teoretice. Einstein ar fi putut admite, poate, că experiența este în măsură să arbitreze dezacordul său cu susţinătorii interpretării standard a mecanicii cuantice. El nu a spus, desigur, aşa ceva şi este puţin probabil că ar fi spus-o dacă problema ar fi fost formulată în acest fel. Chiar admiţînd că el ar fi fost de acord că experienţa poate să arbitreze un asemenea dezacord, nu ar putea fi probată, cred, existenţa unei contradicţii între acest punct de vedere şi conduita lui efectivă. Într-adevăr, Einstein era profund convins că proiectul elaborării unei teorii unitare a cîmpului, care să permită derivarea legilor mecanicii cuantice din legi deterministe stricte, va fi în cele din urmă încununat de succes. Or, este evident că o asemenea evoluţie ştiinţifică ar putea fi considerată, în cele din urmă, drept o „justificare practică" a concepţiei sale asupra ştiinţei. Este greu de precizat cît de lungă trebuie să fie perioada de timp în care aceste aşteptări nu au fost confirmate pentru a putea spune, dimpotrivă, că verdictul experienţei ştiinţifice este negativ, că aceasta ne constrînge *strictu senso* să abandonăm idealul ştiinţific einsteinian. Dacă experienţa poate totuşi arbitra între reprezentări metateoretice divergente, între idealuri ştiinţifice incompatibile, este important să se înţeleagă că verdictul ei devine constrîngător numai pe termene istorice foarte lungi. Chiar dacă speranţa că evoluţia ştiinţifică va reabilita un ideal ştiinţific ca cel al lui Einstein devine, cu trecerea timpului, tot mai slabă, această posibilitate nu poate fi totuşi caracterizată ca exclusă, aşa cum poate fi caracterizată, de exemplu, posibilitatea înlăturării pur şi simplu a mecanicii relativiste şi a revenirii la mecanica prerelativistă. Amintesc, de pildă, că la începutul deceniului trecut, un specialist putea încă să afirme: „Dacă proiectul final al lui Einstein, unificarea nebanală a teoriei fizice, poate fi realizat, rămîne o chestiune deschisă." (L. E. Ballentine, pag. 1770—1771.)

Dacă urmărim astăzi disputa dintre Einstein şi Schrödinger, pe de o parte, şi creatorii interpretării „ortodoxe" a mecanicii cuantice, pe de altă parte, sîntem izbiţi de incapacitatea relativă a fiecărei părţi de a înţelege şi de a reda corect punctul de vedere al celeilalte[4]. Această incapacitate, care explică în parte de ce discuţia nu a dus la o apropiere a punctelor de vedere, sare în ochi îndeosebi în luările de poziţie ale părţii pe care am calificat-o conservatoare, bunăoară, de cîte ori Einstein şi Schrödinger încearcă să explice de ce consideră concepţia despre ştiinţă a apărătorilor interpretării standard drept inacceptabilă. Fără îndoială, Einstein şi Schrödinger nu au putut înţelege niciodată punctul de vedere după care ceea ce ei considerau drept criterii ale obiectivităţii cunoaşterii fizice, ale inteligibilităţii unei descrieri şi explicaţii fizice în genere, nu ar fi, cum se exprimă Bohr, decît „idealizări", care pot fi utilizate legitim doar în limite determinate, limite ce se precizează odată cu dezvoltarea experienţei noastre ştiinţifice. Ei au crezut că sîmburele filosofic al interpretării propuse de Bohr şi Heisenberg ar consta în abandonarea conceptului de realitate obiectivă şi de obiectivitate a cunoaşterii fizice, în renunţarea la cerinţa ca teoria fizică să *explice* faptele, în sensul autentic al cuvîntului, prin urmare, într-o concepţie de factură subiectivistă şi instrumentalistă asupra cunoaşterii fizice. Nu trebuie, de asemenea, să pierdem din vedere că Einstein şi Schrödinger au ajuns la aceste concluzii în urma încercărilor lor infructuoase de a înţelege principiul complementarităţii în cadrul unei concepţii în esenţă clasice asupra obiectivităţii cunoaşterii fizice şi a valorii explicative a teoriilor fizice[42]. Ei au fost, în acest fel,

---

[4] Între cele două părţi s-a produs o veritabilă „ruptură de comunicaţie" care a fost caracterizată, cred, foarte bine cu referire la disputele dintre Einstein şi Bohr, în felul următor:

„Astfel, chiar în formularea poziţiei sale, Bohr elimina adevărata bază a gîndirii lui Einstein ca irelevantă şi lipsită de sens. Asemănător, Einstein a făcut acelaşi lucru cu referire la gîndirea lui Bohr. Fiecare a fost constrîns să-şi întemeieze argumentele pe premise care nu puteau fi considerate în mod serios de către celălalt." (D. Bohm, B. Hiley, pag. 59.)

[42] Există numeroase mărturii în această privinţă. K. R. Popper menţionează, în autobiografia sa intelectuală, discuţiile pe care le-a avut cu Einstein şi Schrödinger asupra mecanicii cuantice. Schrödinger i-a mărturisit că „a fost profund nefericit în legătură cu mecanica cuantică şi crede că nimeni nu a înţeles-o cu adevărat", iar Einstein, într-o discuţie care a avut loc în 1950, i-a spus că „în ciuda celor mai mari eforturi, el nu a putut să înţeleagă ce anume desemnează Bohr prin termenul *complementaritate*". (Vezi K. R. Popper /6/, pag. 73 şi 104.) N. Rosen dă următoarea explicaţie cu privire la geneza cunoscutului articol scris împreună cu Einstein şi Podolski. Articolul a fost rezultatul unei discuţii în trei, al cărei obiectiv a fost realizarea unei *înţelegeri* a noţiunilor şi principiilor mecanicii cuantice. Rosen precizează că acest scop nu a putut fi atins. (Vezi N. Rosen, pag. 59.) Foarte semnificativă este şi o frază din autobiografia intelectuală a lui Einstein : „Din aceste expli-

conduși spre concluzia că acest principiu ar fi incompatibil cu ideea obiectivității cunoașterii fizice în general, că formularea lui ar marca părăsirea idealurilor care au însuflețit strădaniile marilor minți creatoare în întreaga istorie de pînă acum a științei exacte. Atît Einstein, cît și Schrödinger, au apreciat poziția filosofică generală a creatorilor interpretării larg acceptate a mecanicii cuantice drept pozitivistă și subiectivistă, și au explicat în acest fel caracterul ireconciliabil al dezacordului lor cu susținătorii acestei interpretări. Remarcînd că o stare fizică reală nu se lasă deloc descrisă în ceea ce numea „teoria cuantică actuală“, Einstein îi scria lui Besso : „Teoreticienii ortodocși ai cuantelor nu admit în general, pe bază de considerații pozitiviste, noțiunea de stare reală. Se ajunge astfel la o situație care se aseamănă cu cea bunului episcop Berkeley“ (A. Einstein /12/, pag. 282—283.) La prima vedere este greu de înțeles cum a ajuns Einstein să creadă că mari cercetători ai naturii din secolul nostru se situează, din punct de vedere filosofic, foarte aproape de idealismul subiectiv al lui Berkeley. Singurul răspuns posibil este că el nu a distins între interacțiunea fizică dispozitiv experimental-sistem fizic și relația epistemică subiect-obiect. Einstein considera, de exemplu, că potrivit concepției lui Bohr și Heisenberg caracteristicile de stare ale microobiectelor sînt determinate de intervenția „persoanei care măsoară“. Exprimările lui Schrödinger sînt, în această privință, și mai lipsite de echivoc. Caracterizînd interpretarea standard ca o interpretare „transcendentală, aproape psihică a fenomenului ondulatoriu“, Schrödinger se explică astfel : „Caracterul nefiresc al funcției de undă este accentuat mai puternic de faptul că, potrivit punctului de vedere ortodox, schimbarea ei, datorită operației de măsurare, depinde de faptul că observatorul ia cunoștință de rezultat. Schimbarea nu are loc decît pentru observatorul care se informează de rezultat.“ (E. Schrödinger /5/, pag. 20.) Într-un alt text, Schrödinger descrie punctul de vedere al lui Bohr și Heisenberg scriind că după ei „obiectul nu are o exis-

---

cații incomplete se poate vedea că mie mi se pare greșit să facem să depindă direct descrierile teoretice de actele de constatare empirică, cum se pare că se intenționează în cazul principiului complementarității al lui Bohr, a cărui formulare precisă nu mi-a reușit, în ciuda tuturor străduințelor mele.“ (A. Einstein /7/, pag. 500.)

tență independentă de subiectul care-l observă. Ei vor să spună că recentele descoperiri ale fizicii ne-au condus pînă la frontiera misterioasă care separă *subiectul* de *obiect* şi că această frontieră s-a dovedit a nu fi una net trasată". (Vezi E. Schrödinger /4/, pag. 91—92.) Mai departe, Schrödinger indică şi mai clar cum înţelege el interpretarea „ortodoxă" : „Se foloseşte oare un limbaj adecvat atunci cînd unul din sistemele în interacţiune în mecanica cuantică este numit *subiect ?* Căci spiritul care observă nu este un sistem fizic şi nu poate fi pus în interacţiune cu un sistem fizic." (E. Schrödinger /4/, pag. 96.) Aşa cum s-a arătat, şi în capitolul anterior, aceasta nu este o prezentare cît de cît fidelă şi deci acceptabilă a bazei filosofice a interpretării standard, elaborată de Bohr şi Heisenberg. Este adevărat însă că o asemenea înţelegere a filosofiei lui Bohr şi Heisenberg a putut fi favorizată de comentariile filosofice cu largă circulaţie ale unor reputaţi fizicieni de orientare pozitivistă, cu contribuţii importante la dezvoltarea teoriei, ca P. Jordan, ca şi de exprimări filosofice echivoce ce pot fi întîlnite mai ales în unele lucrări ale lui Heisenberg.

Principala sursă a neînţelegerilor rămîne însă incapacitatea lui Einstein şi Schrödinger de a admite că în mecanica cuantică s-a creat o situaţie principial nouă din punct de vedere epistemologic, care cere reconsiderarea reprezentărilor familiare cu privire la caracterul obiectiv al realităţii fizice. Einstein repeta în mod obsedant că fizica teoretică se interesează de caracteristicile de stare ale sistemului fizic individual, independent de orice perturbare introdusă prin actul observaţiei. Convingerea neclintită a lui Einstein că mecanica cuantică este incompletă şi că ea ar trebui să fie completată prin deducerea legilor ei din legile unei teorii generale a cîmpului, de tip clasic, a fost strîns legată cu refuzul său de a lua în considerare şi de a examina specificul situaţiei de cunoaştere care s-a creat odată cu progresele fizicii atomice[43]. Caracterizarea descrierii cuantice a realității fizice drept completă și definitivă, în sensul pe care-l dă Bohr acestor cuvinte, era înțeleasă de Einstein ca o abdicare de nejustificat de la idealul care i-a condus pe cercetătorii naturii de la Galilei la Planck, de la țelul cunoașterii adevărului, al descrierii realității fizice așa cum este ea independent de observator. Ideea că cei ce califică bazele statistice ale mecanicii cuantice drept definitive încetează de fapt să mai considere teoriile fizice drept descrieri și explicații ale realității fizice, reducîndu-le, în fapt, la simple instrumente de predicție, a constituit una din supozițiile esențiale pe care se întemeiază atacurile lui Einstein și Schrödinger la adresa acestei teorii. „Nu mă pot declara satisfăcut de ideea că posedăm o mașină capabilă să prezică, dar căreia nu putem să-i dăm un sens clar“, îi scria Einstein lui Born la 3 decembrie 1953. (Vezi M. Born /6/, pag. 223.) Observații de acest fel, risipite în corespondența lui Einstein, apar pe prim plan în publicațiile lui Schrödinger. În unele din lucrările sale polemice, fizicianul austriac afirmă fără echivoc că la baza interpretării dominante a mecanicii cuantice stă concepția machistă asupra științei[44]. Schrödinger apreciază această concepție, care opune descrierea economică a datelor experienței unei explicații autentice, drept o trădare a glorioasei tradiții a științei matematice a naturii. „Dacă ni se

---

[43] Din această cauză, Einstein nu a fost în stare să înţeleagă vreodată argumentele lui Bohr, Heisenberg, Pauli sau Born. Referindu-se, de exemplu, la comentariul lui Pauli pe marginea articolului său programatic intitulat *Mecanica cuantică şi realitatea,* Einstein îi scria lui Besso (24 iulie 1949) : „Ai observat cît de ilogic este răspunsul lui Pauli ? El contestă că acest fel de a proceda ar fi incomplet, dar spune imediat după

---

aceea că funcția este o reprezentare *statistică* a unei totalități a sistemului. Aceasta nu este însă decît o altă formă a afirmației : reprezentarea sistemului individual este incompletă ! “ (A. Einstein /12/, pag. 238.) Dacă ar fi cunoscut această observație, Pauli, apreciat chiar de Einstein ca un cercetător de o rigoare logică ieșită din comun, ar fi avut tot dreptul să acuze, la rîndul lui, lipsa de logică a atitudinii lui Einstein. Presupunerea că Pauli se contrazice se întemeiază, evident, pe o substituție inconștientă, dar nu mai puțin ilicită, a premiselor reale ale raționamentului său prin supoziții incompatibile cu aceste premise, mai precis, prin conceptul clasic al realității fizice și al obiectivității descrierii fizice.

[44] „Ni se spune astăzi, și anume cu referire explicită la Mach, că nu trebuie să așteptăm mai mult decît predicții repetate *ad nauseam* de la știința noastră. La o parte cu 'imaginile'. Numai ecuații diferențiale și alte demersuri matematice și o rețetă despre modul cum se poate deriva din ele, și dintr-un enunț despre observații realizate efectiv, toate enunțurile despre ceea ce este în general posibil de prezis. Cerința imaginilor intuitive, ni se spune, înseamnă a dori să știm cum este constituită natura în realitate. Și aceasta ar fi metafizica, o expresie pe care știința actuală o utilizează mai ales ca ocară.“ (E. Schrödinger /3/, pag. 216.)

spune însă, şi ni s-a spus, că o explicaţie şi o înţelegere, dincolo de simpla descriere, nu au un sens bine determinat, aceasta pare să închidă drumul progresului cunoaşterii în măsura în care împiedică găsirea unei explicaţii veritabile". În continuare, Schrödinger se explică astfel : „La aceasta putem răspunde... că oricum ar sta lucrurile, ceea ce ne interesează în mod esenţial este *imaginea (das Bild)* cîştigată în cele din urmă sau într-un anumit moment ; pe noi ne interesează configuraţia corelaţiilor ca atare ; prezicerea, predicţia observaţiilor este pur şi simplu un mijloc pentru a controla dacă imaginea pe care ne-o facem este adecvată." (E. Schrödinger /3/, pag. 212—213.) În spatele rîndurilor lui Schrödinger stă, evident, presupunerea că unii fizicieni atomişti ar fi uitat aceste lucruri sau nu le mai acordă însemnătatea cuvenită. Altfel, nu ne putem explica asemenea lecţii epistemologice elementare, care par adresate unui filosof instrumentalist, situat oarecum în afara ştiinţei, care nu înţelege bine spiritul, sensul şi ţelurile cercetării teoretice.

Trebuie să admitem, deci, oricît de puţin confortabilă ar fi această presupunere, că Einstein şi Schrödinger au înţeles greşit substratul filosofic al interpretării ortodoxe şi nucleul divergenţelor loc cu apărătorii acestei interpretări[45]. Ei nu au văzut posibilitatea unei fizici teoretice în afara cadrelor clasice, a supoziţiei că realitatea fizică trebuie descrisă făcînd abstracţie de interacţiunile pe care le implică observaţiile şi măsurătorile, şi că o descriere completă a acestei realităţi va trebui să fie o descriere deterministă strictă, neprobabilistă. Ei nu au putut niciodată disocia ideea obiectivităţii descrierii realităţii în teoria fizică de sensul clasic al acestei idei. Pe fizicienii care nu erau de acord cu ei, i-au considerat de aceea, cu deplină bună credinţă, ca subiectivişti şi instrumentalişti. În ultimii ani ai vieţii, Einstein le explica interlocutorilor săi prăpastia ce se crease între el şi colegii săi fizicieni prin exprimări ca acestea : „Ei au abandonat raţiunea" sau „Fizica mecanic cuantică ocolește realitatea și rațiunea“. (Vezi R. S. Shankland, pag. 900.) Dar încă într-o scrisoare către Schrödinger din 9 august 1939, Einstein califica poziția celor ce se abat de la concepția lor, de fapt de la concepția clasică a realității fizice, drept „mistică“ [46]. Este interesant că L. Rosenfeld, probabil cel mai activ și reprezentativ interpret, comentator și apărător al filosofiei fizicii a lui Bohr, a folosit exact același cuvînt pentru a califica încrederea lui Einstein în posibilitatea de a deriva efectele cuantice dintr-o teorie unitară a cîmpului de tip clasic, încredere întemeiată pe supoziția simplității matematice a lumii fizice. (Vezi K. von Meyenn.) Este de presupus că Bohr ar fi împărtășit o asemenea apreciere. El era însă prea precaut și reținut pentru a o formula în mod public. Să considerăm însă ceea ce sugerează recursul la asemenea caracterizări. Fiecare parte credea, fără îndoială, că cealaltă se situează în afara științei. Situația este oarecum amuzantă, dar are, cred, un tîlc mai profund. Oamenii de știință exactă sînt înclinați să numească „mistice“ tendințe și convingeri subiective ireductibile, ce se sustrag, în principiu, unei motivări raționale. Dar ei nu vor califica niciodată astfel supozițiile profunde, fundamentale și, în acest sens, ultime ale propriei lor gîndiri științifice, ci exclusiv pe cele incompatibile cu acestea, care le sînt străine și le pot apărea ca neinteligibile. „Mistice“ sau, poate, „metafizice“ vor fi calificate de cercetător tocmai acele idei și convingeri latente ale altor oameni competenți și de bună credință care fac ca argumentele lor științifice să nu aibă și pentru ei o forță constrîngătoare. Oricît de aspră ar putea părea o asemenea calificare în raport cu deprinderile noastre curente de vorbire, ea mi se pare, în acest context particular, potrivită și justificată.

---

[45] Mai mult, confuzia survine şi azi în minţile clasice. Recent, un autor cu pregătire fizică şi în acelaşi timp deosebit de exersat din punct de vedere filosofic a putut, totuşi, să afirme că interpretarea lui Bohr şi Heisenberg „respinge distincţia tradiţională dintre subiect şi obiect, şi, mai mult, practică o reîntoarcere la antropomorfism". (Vezi M. Bunge /5/, pag. 213.)

---

[46] „Există și misticul, care interzice ca neștiințifică o întrebare cu referire la ceva existent independent de observație, deci întrebarea dacă pisica este moartă sau vie în momentul respectiv, înaintea observației.“ (A. Einstein /11/, pag. 33.)

Capitolul IV

Reacţii conservatoare la interpretarea standard: teoriile cu parametri ascunşi

> „Angajamentele metafizice ale oamenilor de ştiinţă sînt rareori rostite distinct, iar cînd sînt afirmate sînt deseori exprimate într-un mod confuz. Aceasta ne duce la problema de a decide care este angajamentul cel mai important, angajamentul explicit la o anumită doctrină metafizică sau angajamentul implicit, care poate fi degajat din alte angajări cognitive."
>
> *T. J. PINCH* (1977)

Teoriile cu parametri ascunşi pot fi considerate, astăzi, un episod de interes mai mult istorico-filosofic în controversele asupra fundamentelor fizicii atomice. Discuţiile suscitate de aceste teorii au fost deosebit de vii în deceniul al şaselea. Începutul lor a fost marcat de un articol al cunoscutului fizician american David Bohm, publicat în 1952, care conţinea o primă schiţă a unei teorii de acest tip[1]. Bohm însuşi menţionează că a fost stimulat în aceste căutări de discuţiile pe care le-a avut cu Einstein[2], precum şi de atacurile unor fizicieni sovietici, în primul rînd ale lui Blohinţev şi Terlețchi, îndreptate împotriva interpretării ortodoxe a mecanicii cuantice. Asemenea informații merită atenție fiindcă oferă o primă indicație în sensul că imboldurile și motivațiile fundamentale ale proiectului științific al lui Bohm au fost de ordin filosofic. Ulterior, el s-a străduit să expliciteze sistematic aceste motivații, formulînd o filosofie a naturii și a cunoașterii fizice în centrul căreia stă ideea structurării în adîncime a realității fizice, pe niveluri, și a interacțiunii dialectice a acestor niveluri. Foarte apropiate de ideile lui Bohm sînt cele ale fizicianului francez Jean Paul Vigier, elev și colaborator apropiat al lui de Broglie, care a investit, ca și Bohm, multă muncă și eforturi în elaborarea unor teorii cu parametri ascunși. Se poate presupune că „teoria nivelurilor“, ca filosofie ce stă la baza programului de cercetare al lui Bohm și Vigier, a căpătat contururi prin contactul intelectual strîns dintre acești doi fizicieni, favorizat de colaborarea lor științifică.

---

[1] Bohm a caracterizat acest început, scriind că scopul său „nu a fost să propună o teorie nouă definitivă, ci mai ales să arate, cu ajutorul unui exemplu concret, că interpretări alternative ale mecanicii cuantice erau în fapt posibile. Într-adevăr, teoria în forma ei originală, deci perfect consistentă din punct de vedere logic, are multe trăsături care păreau destul de artificiale şi nesatisfăcătoare. Oricît de artificiale ar fi fost însă aceste trăsături se părea că teoria poate servi ca un punct de plecare util pentru dezvoltări viitoare, care, se spera, o vor putea modifica şi îmbogăţi în măsură suficientă pentru ca aceste trăsături nesatisfăcătoare să poată fi înlăturate". (D. Bohm /1/, pag. 110—111.)

[2] Bohm a publicat în 1949 un foarte apreciat tratat de mecanică cuantică (*Quantum Theory*). În această lucrare, el se situa pe poziţiile interpretării standard şi se detaşa de tendinţa

Realitatea fizică este caracterizată ca o varietate calitativă infinită, care se exprimă în existența unui număr nelimitat de niveluri distincte, dispuse ierarhic. Nivelurile se disting prin entități, proprietăți și legi fizice calitativ specifice. Fiecare nivel intră în infrastructura nivelului superior, iar caracteristicile lui depind de condiții determinate în parte de interacțiunile ce au loc la acest nivel, în parte de interacțiunile cu nivelurile inferioare și superioare. Nu există legi fizice cu valabilitate generală[3]. Orice lege fizică consideră numai un

---

dominantă în rîndul specialiștilor doar prin interesul mai mare acordat problemelor de interpretare. Einstein a considerat cartea lui Bohm drept cea mai bună expunere a interpretării școlii de la Copenhaga și l-a invitat pe autorul ei, care era profesor la Princeton, să discute cu el despre mecanica cuantică. Influența scepticismului lui Einstein a jucat, fără îndoială, un rol în reorientarea vederilor lui Bohm. (Pentru alte amănunte vezi T. J. Pinch, pag. 180—181.)

[3] „Această idee poate fi ilustrată în modul următor : cînd se analizează corpuri care au dimensiuni de ordinul centimetrilor sau milimetrilor, vom spune că ele sînt efectiv supuse mecanicii clasice... Cînd ajungem la domeniul dimensiunilor de ordinul 10^{-8} centimetri și al intervalelor de timp corespunzătoare, pătrundem în domeniul cuantic, domeniu descris de noua mecanică, care ține seama de caracterele mai fine, mai complexe ale realității. Prin extrapolare, vom admite de asemenea că, dacă intrăm în domeniul dimensiunilor de ordinul 10^{-13}, va trebui să construim o nouă mecanică, și așa mai departe." (J. P. Vigier /1/, pag. 204.)

anumit număr de entităţi şi proprietăţi, proprii unui anumit nivel de realitate, făcînd abstracţie de o „infinitate de factori, atît în infrastructura entităţilor de bază ce intră în sistemul de legi, cît şi în ambianţa generală, în care există aceste entităţi". (D. Bohm /1/, pag. 147.) Iată de ce efectele legilor cauzale ce acţionează la fiecare nivel al realităţii fizice sînt supuse unor perturbaţii întîmplătoare. Pentru formularea unor predicţii satisfăcătoare trebuie, deci, să utilizăm atît legi cauzale (strict deterministe), cît şi legi probabiliste. „În termenii infinităţii naturii, putem spune mai degrabă că orice lege este la un anumit nivel deterministă, iar la alt nivel statistică ; orice lege omite o infinitate de factori la niveluri mai profunde. Acest fapt este cel care face ca o lege să fie o aproximaţie, o face statistică. Dar dacă mergem mai adînc, vedem cauza fluctuaţiilor şi, prin urmare, legea devine deterministă ; mai apoi, şi nivelul mai adînc este sub influenţa unor factori care au fost omişi, şi ea va deveni de asemenea statistică. Deci, din acest punct de vedere, orice lege trebuie să aibă atît o latură deterministă cît şi una statistică." (D. Bohm /3/, pag. 60—61.)

De pe aceste poziţii, Bohm şi Vigier au criticat filosofia mecanicistă tradiţională. Principiul de bază al filosofiei mecaniciste este existenţa unor entităţi, proprietăţi şi legi ultime, susceptibile să fie formulate în termeni cantitativi, care ar putea explica diversitatea calitativă aparentă a lumii fizice. Experienţa dezvoltării cunoaşterii ştiinţifice arată, dimpotrivă, că orice mulţime de legi fizice, formulate cu referire la entităţi şi proprietăţi determinate, pe baza unor aproximaţii determinate, sînt aplicabile numai în condiţii determinate. Limitele în care pot fi aplicate cu succes se precizează odată cu progresul cercetării. Supoziţia mecanicistă că toate nivelurile realităţii, toate schimbările calitative şi fluctuaţiile întîmplătoare ar putea fi derivate dintr-un număr limitat şi bine stabilit de legi cantitative nu poate fi deci susţinută în lumina învăţămintelor ce decurg din evoluţia de pînă acum a cunoaşterii fizice. „Căci noi progrese în fizică au arătat că toate teoriile pur cantitative, care au fost considerate în diferite epoci ca fiind cele fundamentale, sînt astăzi aproximaţii ale unor teorii mai adînci şi mai generale, care conţin tipuri calitativ noi de entităţi de bază, corelate prin tipuri noi de legi corespunzătoare. În plus, va fi întotdeauna posibil, așa cum s-a întîmplat adesea pînă acum, ca rezultate experimentale să indice nevoia unor noi schimbări, cu un caracter mai profund, ale teoriilor noastre fundamentale." (D. Bohm /1/, pag. 66.) Bohm și Vigier socotesc că aceste principii sînt incompatibile nu numai cu mecanicismul, ci, în egală măsură, și cu presupozițiile filosofice ce stau la baza interpretării standard a mecanicii cuantice. Afirmațiile că relațiile de impreciziune exclud existența unor legi cauzale (deterministe stricte) nu ar putea fi justificate decît dacă acestor legi li se acordă o valoare absolută. Nimic nu ne împiedică însă să presupunem existența unui nivel subcuantic, în care operează legi calitativ diferite de cele ale mecanicii cuantice, nivel din care aceste legi ar putea fi deduse drept un caz limită, în același fel în care legi macroscopice au fost deduse din legile mecanicii moleculare. În acest caz, s-ar dovedi că relațiile de impreciziune sînt valabile numai la nivel cuantic, și nu la nivelul mai adînc (subcuantic). Caracterizarea relațiilor de impreciziune ca restricții fundamentale valabile pentru orice teorie a fizicii atomice nu ar rezulta din conținutul mecanicii cuantice, ci dintr-o presupunere adițională, care asertează valabilitatea nelimitată a unora din trăsăturile ei. (Vezi D. Bohm /1/, pag. 69)[4]. Nu numai relațiile de impreciziune dar și teorema lui von Neumann cu privire la imposibilitatea introducerii de parametri sau mărimi ascunse în mecanica cuantică[5] se întemeiază pe presupunerea că legile mecanicii cuantice sînt universal valabile. Această presupunere cade de îndată ce va fi probată existența unui nivel subcuantic. Numai pe cale teoretică, prin introducerea unor ipoteze despre parametri ascunși, vom putea ajunge la experimente care să evidențieze proprietățile entităților de la nivelul subcuantic. (Vezi D. Bohm /1/, pag. 96 și D. Bohm /2/ pag. 37.)

---

[4] Vigier, exprimă deosebit de clar reprezentarea intuitivă pe care se sprijină asemenea considerații : „Cînd se spune, de exemplu, în teoria actuală că nu se poate ști cînd cutare sau cutare atom de radiu va emite o radiație, noi spunem că aceasta exprimă nu o limită ultimă a cunoașterii, ci o diferență obiectivă între cei doi atomi de radiu, diferență pe care o vom putea explica atunci cînd vom analiza mai profund noi parametri care servesc la descrierea comportării mai profunde a materiei." (J. P. Vigier /2/, pag. 210.)

[5] Demonstrația, care a fost dată în cartea lui J. von Neumann *Mathematische Grundlagen der Quantentheorie* (1932), este că o teorie cu parametri ascunși este în contradicție cu mecanica cuantică. Bohm consideră că schița lui din 1952 este o provocare la adresa teoremei lui von Neumann, în măsura în care probează *de facto* că o interpretare alternativă a mecanicii cuantice, în termeni de parametri ascunși, este posibilă din punct de vedere logic. (Pentru dezvoltări, vezi T. J. Pinch, pag. 186—187.) Teorema lui Neumann a fost criticată în anii '50 de numeroși autori, unii dintre ei favorabili ipotezelor cu para-

Bohm și Vigier nu pun deci în discuție validitatea mecanicii cuantice, ci a interpretării pe care i-a dat-o școala de la Copenhaga. Argumentarea lor țintește să despartă mecanica cuantică, ca teorie fizică, de ceea ce ei consideră drept o interpretare filosofică, care nu decurge cîtuși de puțin din acceptarea teoriei[6]. Interpretarea curentă, larg acceptată a mecanicii cuantice, susține Bohm, se întemeiază pe o generalizare a relațiilor de imprecîziune care nu ar fi în nici un fel justificată. „Căci, dacă un asemenea nivel subcuantic există, atunci, așa cum am văzut, supozițiile de bază citate mai sus[7], care sînt necesare pentru validitatea principiului nedeterminării, nu vor mai fi valabile la acest nivel mai profund. (De exemplu, o cuantă poate fi, în principiu, prezisă și controlată în termenii unor noi tipuri de factori cauzali, care există la acest nivel.) Deci, principiul indeterminării nu are pur și simplu nimic de spus cu privire la precizia ce poate fi obținută prin măsurători ce utilizează procese fizice care au loc la un asemenea nivel mecanic subcuantic." (D. Bohm /1/, pag. 94—95.) Legile mecanicii cuantice sînt fără îndoială valabile într-un domeniu bine determinat. Descoperirea acestor legi reprezintă o realizare științifică strălucită, de cea

---

metri ascunși. Se susținea că teorema lui Neumann nu poate interzice, în general, introducerea parametrilor ascunși, ci a probat doar incompatibilitatea unei anumite ipoteze de acest tip cu postulatele unei expuneri axiomatizate a mecanicii cuantice. (Vezi, în această privință, volumul editat de St. Körner, *Observation and Interpretation in the Philosophy of Physics*, 1957.)

[6] „Nimeni — spunea Vigier — referindu-se de fapt la autori care propun și susțin teorii cu parametri ascunși — nu neagă valabilitatea legilor cuantice ca legi statistice... Problema este ce se află dincolo de aceste legi." (J. P. Vigier /1/, pag. 50.)

[7] Este vorba de cuantificarea energiei și a momentului în toate interacțiunile, de existența unor aspecte ondulatorii și corpusculare ale cuantelor și de caracterul incontrolabil (imprevizibil) al anumitor trăsături ale efectelor cuantice individuale.

mai mare importanță. Interpretarea pe care au dat-o Bohr și Heisenberg relațiilor de impreciziune, sugerează Bohm, poate fi însă calificată drept dogmatică și prohibitivă, în măsura în care închide drumul spre căutarea unor noi legi, care acționează la niveluri mai profunde.

Bohm lasă să se înțeleagă că asemenea căutări sînt importante în egală măsură din punct de vedere general filosofic și pentru progresul propriu-zis al cunoașterii fizice. Este însă plauzibil că el, ca și alți fizicieni care au lucrat la teorii cu parametri ascunși, a fost însuflețit în eforturile sale în primul rînd de interese și considerații filosofice. Într-adevăr, speranța că descoperirea legilor unui nivel subcuantic al realității fizice ar putea să restabilească ideile de cauzalitate, continuitate a mișcării și individualitate a microobiectelor pare să fie, pentru Bohm, ca și pentru alți fizicieni de aceeași orientare, deasupra tuturor celorlalte considerații. Nu era vorba numai, și în primul rînd, de a face să progreseze teoria, ci de a reda descrierii teoretice acea inteligibilitate și valoare explicativă depline pe care ea ar fi pierdut-o odată cu dezvoltarea teoriei cuantelor și adoptarea interpretării standard. Parametrii ascunși sînt importanți pentru Bohm în primul rînd fiindcă fac posibilă o interpretare alternativă a mecanicii cuantice. Dacă se poate cîștiga mult pe această cale și pe planul cunoașterii fizice propriu-zise, depășindu-se ceea ce Bohm, de Broglie sau Vigier apreciau a fi o veritabilă criză a mecanicii cuantice[8], cu atît mai bine. Intenția fundamentală a programului lui Bohm, aceea de a nu aduce nici o atingere legilor stabilite ale mecanicii cuantice, dar de a repune în drepturi idealurile clasice ale obiectivității, continuității și determinismului descrierii fizice a realității apare cu multă claritate în formularea pe care o dă el principiului de construcție al teoriilor cu parametri ascunși. „Aceste teorii permit reprezentarea efectelor cuantice ca manifestarea unui substrat obiectiv, real, de mișcare continuă, existentă la un nivel mai profund, și satisfăcînd noi legi, care să conducă la legile mecanicii cuantice curente ca aproximații adecvate numai la nivelul pe care-l numim mecanic-cuantic." (D. Bohm /1/, pag. 104.) Descoperirea noilor legi nu va suprima determinarea probabilistică a evenimentelor la nivelul mecanic-cuantic (ceea ce Bohm numește, în mod simptomatic, și *indeterminare)*, dar va contesta valoarea principială atribuită acestei determinări în interpretarea standard.

---

[8] Erau vizate, în primul rînd, dificultățile de care se lovea în acei ani teoria existentă în caracterizarea interacțiunilor fizice cu energii înalte, care se realizează la distanțe mici. Prin aplicarea legilor mecanicii cuantice la electrodinamica unor particule ca electronii, protonii etc. se primeau pentru masa și sarcina acestora valori infinite. În prefața scrisă pentru cartea lui Bohm, care apare în 1957, de Broglie își exprimă speranța că direcția generală de cercetare în care lucrau Bohm, Vigier și el însuși va putea salva mecanica cuantică din „fundătura“ *(cul-de-sac)* în care s-ar afla în acel moment. (Vezi L. de Broglie /2/, pag. X.)

Bohm a schițat un proiect, pe care îl aprecia drept ipotetic, provizoriu și imperfect, al unei teorii de acest fel. Se consideră o particulă, presupusă ca punctuală, și o undă a cîmpului, cu existență obiectivă, ca și undele electromagnetice sau undele cîmpului gravitațional. Unda și particula sînt în interacțiune ; influența particulei asupra undei este neglijabilă la nivel cuantic și sensibilă la nivel subcuantic. Fluctuații, a căror explicație trebuie căutată la nivel subcuantic, determină mișcarea aleatorie a microparticulei. Acestor forțe li se opune o „forță cuantică", care tinde să localizeze particula în regiunea în care cîmpul este mai intens. (Situația este analoagă cu cea a unei mișcări browniene într-un cîmp gravitațional ; tendințele aleatorii sînt, în acest caz, parțial contracarate de acțiunea forței gravitaționale.) Probabilitatea ca particula să fie în regiunea în care cîmpul este mai intens este de aceea mai mare, dar există și o probabilitate, ce nu poate fi neglijată, ca ea să se afle într-o regiune în care cîmpul este mai slab. (Vezi D. Bohm /1/, pag. 111—114.) Se poate da astfel socoteală de natura probabilistă a legilor mecanicii cuantice, menținîndu-ne în cadrele tradiționale ale gîndirii fizice, fără să mai fie necesară o reconsiderare a însăși ideii descrierii și explicației fizice, de tipul celei pe care o implică adoptarea principiului complementarității[9]. Se presupune că forța cuantică și fluctuațiile aleatorii vor putea fi descrise prin legi cauzale și respectiv probabilistice ale nivelului subcuantic. Acest nivel, caracterizat prin energii mari și distanțe mici de interacțiune, este cel la care are loc „crearea“ și „anihilarea“ așa-numitelor particule elementare. El este în același raport cu nivelul cuantic ca și nivelul molecular cu mișcarea browniană. Și într-un caz și în celălalt, mișcarea la nivelul superior este determinată de mișcarea la nivelul mai profund. „Punctul principal este aici că determinismul și indeterminismul pot să coexiste, dar la niveluri diferite.“ (D. Bohm /2/, pag. 34.)

---

[9] Experimentul lui Schrödinger cu motanul închis într-o cutie, se explică Bohm, pune în evidență că funcția de undă nu dă o descriere completă a realității fizice. Pentru a determina caracteristicile de stare reale ale microobiectului, după o interacțiune cu aparatul, este necesar să adăugăm funcției de undă

Înainte de a-și publica articolul său din 1952, Bohm a trimis o copie a manuscrisului lui de Broglie. În scrisoarea sa de răspuns, cunoscutul fizician francez l-a informat pe Bohm că a încercat și el, încă în anii '30, o reinterpretare a mecanicii cuantice bazată pe ipoteze asemănătoare, dar a abandonat-o în fața unor obiecții la care nu a găsit răspuns [10]. Luînd abia acum cunoștință de încercările mai vechi ale lui de Broglie de a da o interpretare „deterministă“ mecanicii ondulatorii, Bohm a considerat că poate răspunde obiecțiilor de ordin tehnic care l-au determinat pe acesta să renunțe la dezvoltarea ideilor sale și a scris un apendice, în acest sens, la articolul său. Alături de criticile lui Einstein și Schrödinger din jurul anului 1950, noile încercări ale lui Bohm și Vigier au determinat revenirea lui de Broglie la tentativele sale din anii 1926—1927.

Schimbările de poziție ale lui de Broglie sînt exemplare pentru oscilațiile pe care le poate genera tensiunea dintre o opțiune programatică, condiționată de adeziunea la anumite idealuri științifice, și presiunile ce rezultă din dificultăți care survin în realizarea unui program de cercetare. Creatorul de știință exactă cu o conștiință filosofică clară își va orienta întotdeauna cercetarea, în mod spontan sau conștient, pe liniile pe care i le dictează idealul său științific, dar va trebui, totodată, să aprecieze rezultatele strădaniilor sale pe baza unor criterii obiective, general acceptate în comunitatea specialiștilor. Situația lui va deveni dilematică ori de cîte ori aceste solicitări încetează să fie conver-

---

anumiți parametri. „Reducția pachetului de unde are loc în mod obiectiv, adică fără ajutorul observatorului, dar cu ajutorul acestor parametri adiționali.“ (D. Bohm /3/, pag. 138.)

[10] Este vorba, așa cum a indicat mai tîrziu de Broglie, de dificultăți de ordin matematic ale ipotezelor sale. (Vezi, de exemplu, L. de Broglie /1/, pag. 468—469 și L. de Broglie /5/, pag. 150.)

gente sau uşor de conciliat. Pentru un om de ştiinţă cu adevărat mare va fi în egală măsură dureros să trebuiască să-şi adapteze convingerile filosofice cele mai profunde punctului de vedere care este la un moment dat general acceptat sau să concedă la o cît de mică slăbire a acelei obiectivităţi şi imparţialităţi în evaluările cu caracter tehnic pe care le-ar dori universal respectate. Drama lui de Broglie este cea a unui cercetător profund ataşat de idealurile fizicii clasice care a luptat o viaţă pentru a-şi salva unitatea personalităţii, pentru a face posibilă în propria sa fiinţă o convieţuire cît mai armonioasă a gînditorului şi a specialistului şi a preveni un conflict distructiv între conştiinţa filosofică şi probitatea profesională.

În anii 1926—1927, cînd lumea fizicienilor teoreticieni era încă divizată între adeziunea entuziastă şi rezerva critică faţă de noua interpretare probabilistă propusă de Bohr, Heisenberg, Pauli, Born şi Dirac, de Broglie, ca şi Schrödinger, şi-a căutat o cale proprie propunînd o interpretare originală a mecanicii ondulatorii. Dar spre deosebire de Schrödinger, a cărui interpretare nega existenţa fizică a particulelor şi deci a efectelor cuantice în general, de Broglie s-a străduit să realizeze o sinteză a aspectelor ondulatorii şi corpusculare, puse în evidenţă de noile date experimentale, menţinîndu-se, ca şi fizicianul austriac, în cadrele gîndirii fizice clasice. Ideea de bază a programului lui de Broglie a fost formulată încă în celebra lui teză de doctorat, susţinută în anul 1924. „Întreaga teorie nu va deveni cu adevărat clară decît dacă se va ajunge să se definească structura undei şi natura singularităţii constituită de corpusculul a cărui mişcare ar trebui să fie prevăzută, plasîndu-ne *exclusiv* pe punctul de vedere ondulatoriu.“ (Citat după L. de Broglie /1/, pag. 465.) Delimitîndu-se atît faţă de interpretarea probabilistă dominantă, cît şi faţă de concepţiile extremiste ale lui Schrödinger, de Broglie credea că realizarea acestui program general ar permite conservarea ideii unei realităţi fizice corpusculare şi explicarea salturilor cuantice în cadrele unei descrieri deterministe clasice în spaţiu şi timp. În anii 1926—1927 el a formulat două ipoteze inspirate de acest program, teoria dublei soluţii şi teoria undei-pilot. În prima teorie se încearcă realizarea sintezei corpuscul-undă prin încorporarea corpusculului în undă. Corpusculii sînt reprezentați ca singularități cu caracter permanent în cadrele unei unde extinse. Mai precis, unda obiectivă are, într-o regiune foarte limitată, valori foarte mari ale amplitudinii, corpusculul, în sensul obișnuit al cuvîntului, fiind tocmai un asemenea „accident". (Vezi L. de Broglie /8/, pag. 47.) Această teorie, care oferea „o reprezentare clară și inteligibilă a asociației undelor cu corpusculii, oarecum analoagă cu imaginile pe care le utiliza vechea fizică" (L. de Broglie /5/, pag. 154), se izbea însă de o dificultate majoră : în mecanica ondulatorie, ca și în optica ondulatorie, sînt considerate numai unde continue, fără singularități. Pentru a face față acestei dificultăți, teoria introducea două unde, unda ψ, o undă continuă, regulată, a cărei semnificație era probabilistă (în sensul că indica probabilitatea prezenței corpusculului într-o anumită regiune), și o undă singulară (reală) u. Corpusculul era descris ca un „accident" localizat, înglobat în structura celei din urmă. Se presupunea că cele două unde sînt două soluții ale uneia și aceleiași ecuații liniare[11]. De Broglie a recunoscut că avînd conștiința slăbiciunilor matematice ale acestei teorii, în forma ei de atunci, s-a decis să prezinte în referatul său la întrunirea Consiliului Solvay din septembrie 1927 ceea ce el a numit un punct de vedere mai diluat *(mitigé)* sau o versiune simplificată a teoriei dublei soluții, așa-numita teorie a undei-pilot. Potrivit acestei teorii, corpusculul emite o undă care influențează apoi mișcarea acestuia ; înconjurat de o undă, corpusculul se propagă, manifestîndu-și, în funcție de condițiile experimentale, fie aspectul ondulatoriu, fie pe cel corpuscular. Sub aspectul orientării ei filosofice fundamentale, această a doua teorie nu se deosebea de prima fiindcă „păstra noțiunea intuitivă de corpuscul punctual, bine localizat în spațiu" și „determinismul riguros al mișcării sale". (Vezi L. de Broglie /1/, pag. 468.) Față de prima, ea părea mai ușor de apărat, dar aceasta cu prețul unei pierderi în conținut și în puterea euristică.

---

[11] „Astfel, în concepția mea, oricărei rezolvări uzuale a ecuațiilor de undă ale mecanicii ondulatorii, care oferă doar o descriere statistică, trebuie să-i corespundă o altă soluție, comportînd o singularitate și reprezentînd adevărata asociere a undei și a corpusculului în realitatea fizică profundă. De aici și denumirea de teoria dublei soluții pe care am dat-o încercării mele." (L. de Broglie /7/, pag. 26.)

După întrunirea de la Bruxelles, în cadrul căreia prezentarea făcută de către de Broglie teoriei undei-pilot nu a trezit interesul participanților, acesta a ajuns la concluzia că teoria nu poate fi susținută fiindcă în cadrul ei se ajunge la o identificare a undei ψ și a undei μ, ceea ce echivalează cu a spune că mișcarea corpusculului este „ghidată“ de o mărime care nu are semnificație fizică reală, unda continuă. Teoria dublei soluții scăpa unor asemenea obiecții și avea avantajul de a stabili o legătură mult mai strînsă între corpuscul și undă, dar comporta, după aprecierea lui de Broglie, mari dificultăți de ordin matematic, pe care el nu se simțea în stare să le depășească. În fața acestei situații și a succesului tot mai mare al interpretării standard[12], de Broglie a renunțat să continue încercările sale de a elabora o interpretare deterministă a mecanicii ondulatorii și a expus, pînă în 1952, atît în lucrările sale de sinteză, cît și în activitatea lui didactică, interpretarea școlii de la Copenhaga.

După 1952, de Broglie a dat diferite explicații acestei renunțări. El insista asupra sentimentului de descurajare și izolare pe care l-a trăit după reuniunea de la Bruxelles, asupra lipsei de încredere în capacitatea sa de a învinge problemele matematice pe care le ridica elaborarea mai departe a teoriei dublei soluții. (Vezi, de exemplu, L. de Broglie /7/, pag. 27.) Fapt este că de Broglie a încetat să mai susțină și să apere public necesitatea unei interpretări „cauzale“ și „obiective“ în microfizică, și cred că această reorientare i-a apărut atunci ca un act de probitate profesională. Numeroasele sale relatări retrospective sugerează că temeiul ultim al deciziei sale ar putea fi exprimat, într-o formulă generală, astfel : atît timp cît un proiect de cercetare științifică nu poate fi dezvoltat pînă la punctul în care își probează în mod convingător valoarea euristică, el nu va putea fi prezentat ca o alternativă la teoria acceptată de comunitatea specialiștilor, iar convingerile filosofice care l-au adus la viață și l-au susținut trebuie să fie dacă nu reprimate, atunci cel puțin făcute să tacă. Un asemenea principiu de conduită contrastează evident cu considerațiile după care s-a condus Schrödinger. Schrödinger și Einstein nu și-au slăbit nici un moment opoziția inflexibilă față de interpretarea standard, crezînd cu fermitate că nereușitele sînt temporare, că ele exprimă doar limitele puterilor lor personale[13], și că numai prin critica deschisă a concepțiilor școlii de la Copenhaga vor deveni fizicienii teoreticieni conștienți de insuficiențele acestei concepții și vor putea fi convinși să-și concentreze eforturile în direcția elaborării unei explicații veritabile a „misterului“ cuantelor. De Broglie nu a vrut sau nu a fost în stare să accepte izolarea științifică accentuată pe care o atrăgea după sine, în acel moment, o atitudine atît de radicală ca acea a lui Einstein și Schrödinger, dar nici nu a reușit, pe de altă parte, să realizeze o veritabilă metamorfoză filosofică, o ruptură cu reprezentările asupra țelului și exigențelor descrierii teoretice în fizică care îl conduseseră de la începutul activității sale științifice. De Broglie a renunțat să-și apere convingerile fiindcă credea că nu are dreptul să o facă, ca om de știință, decît dacă a reușit să construiască sau dispune de mijloacele necesare pentru a construi pe baza lor, într-un interval relativ scurt de timp, o teorie care să țină pasul din punctul de vedere al nivelului ei de elaborare tehnică cu teoria consacrată. De Broglie și-a schimbat, în ultimă instanță, poziția publică, dar nu convingerile, păstrîndu-și astfel neatinse atît comunicația cu colegii, cît și prestigiul științific, cu prețul, nu mic, al ambiguității pe care o implică incompatibilitatea manifestă între o filosofie pe care o afirma în mod public și cea căreia îi rămăsese subiectiv atașat. Căci, evident, de Broglie nu a putut să expună și să apere interpretarea standard a mecanicii cuantice decît profesînd o filosofie cu care nu s-a putut niciodată identifica pe deplin[14]. Fizicienii pătrunși de spiritul de la Copenhaga aveau dreptate să releve poziția lui de Broglie ca o pildă de obiectivitate și probitate profesională, dar se înșelau în aprecierea adevăratei ei semnificații [15]. În mod firesc, de Broglie trebuie să fi resimțit momentul 1952, cînd a crezut că poate să-și reafirme credințele dintotdeauna fără să aducă nici o atingere liniei de conduită pe care i-o dicta simțul său foarte dezvoltat de probitate profesională [16], ca o adevărată eliberare.

---

[12] Ulterior, de Broglie a scris că această interpretare s-a impus repede fizicienilor teoreticieni din tînăra generație fiindcă „se exprima printr-un formalism foarte coerent, care făcea apel la eleganți algoritmi matematici și, mai ales, pentru că părea capabilă să răspundă la toate problemele pe care le putea ridica previziunea fenomenelor observabile, fără a face apel la nici o ipoteză mai mult sau mai puțin arbitrară“. (L. de Broglie /5/, pag. 150—151.)

---

[13] Recunoscînd că nu a ajuns încă să dea o dezvoltare tehnică satisfăcătoare interpretării sale, Schrödinger se apăra scriind că „în acest moment eu îmi caut drumul aproape singur, împotriva unei mulțimi de oameni iscusiți, care lucrează după liniile de gîndire recunoscute“. (Vezi E. Schrödinger /5/, pag. 28.)

[14] Condiția dificilă, chiar dacă nu duplicitară, a vieții intelectuale a savantului în această perioadă este bine ilustrată de

Creatorul mecanicii ondulatorii a putut să reînceapă la o vîrstă relativ înaintată pentru un fizician teoretician lupta cu marile obstacole tehnice de care se lovise încă în tinerețe în elaborarea teoriei dublei soluții, numai fiindcă era însuflețit de convingerea adîncă că o teorie fizică trebuie să dea în primul rînd o *înțelegere* a fenomenelor [17] și că teoria pe care a profesat-o aproximativ douăzeci și cinci de ani, și deci avea dreptul să creadă că o cunoaște foarte bine, nu oferă așa ceva.

---

o relatare semnificativă a unuia din elevii săi. În 1929, de Broglie a vorbit în fața Societății franceze de filosofie, expunînd interpretarea lui Bohr și Heisenberg, pe care marea majoritate a celor prezenți nu a putut-o accepta. (Vezi J. L. Destouches /1/, pag. 70.) Citind astăzi această relatare, nu ne putem împiedica să ne gîndim că de Broglie a fost pus în situația de a răspunde unor obiecții ale căror rațiuni profunde le înțelegea foarte bine, fiindcă ele continuau să fie vii în mintea și sufletul său.

[15] L. Rosenfeld, de exemplu, afirmă în mod justificat că de Broglie a aderat la concepțiile școlii de la Copenhaga „după o reflecție matură“, dar îi aduce, cred, elogii nemeritate scriind în continuare : „Rari sînt pionierii care își domină în această măsură gîndirea și își mențin spiritul deschis la solicitări care le erau la început străine.“ (Vezi L. Rosenfeld /1/, pag. 43.)

[16] Dificultățile de care se izbea teoria cuantică a cîmpurilor, pe de o parte, noile perspective pe care le întrevedea acum pentru dezvoltarea cu succes a teoriei dublei soluții, pornind și de la propunerile unor fizicieni din tînăra generație ca Bohm și Vigier, pe de altă parte, l-au condus pe de Broglie la concluzia că este îndreptățit să reînnoade firul rupt, reluînd lucrul la ideile lui din tinerețe și reafirmînd public exigențele de ordin filosofic care l-au inspirat atunci.

[17] Într-o lucrare mai recentă, care prezintă retrospectiv evoluția ideilor sale, de Broglie subliniază că „dorința de a înțelege și de a-și reprezenta clar realitatea fizică a fost întotdeauna și va rămîne, fără îndoială, scopul cel mai înalt și efortul în cele din urmă cel mai fructuos ale cercetării științifice fundamentale“. (Vezi L. de Broglie /9/, pag. 71.) Interesul și aprecierea pe care le-a manifestat în mod constant de Broglie pentru filosofia științei a lui E. Meyerson constituie o altă mărturie în acest sens. Meyerson a fost un critic inflexibil al școlii de la Copenhaga și este foarte semnificativ

De Broglie socotea, prin urmare, că este de datoria lui să contribuie, în limita puterilor sale, la remedierea acestei situații și să-i încurajeze prin exemplul său pe tinerii cercetători [18]. Reprezentarea generală a lui de Broglie despre ceea ce constituie o explicație veritabilă îl făcea să creadă că o asemenea explicație nu va putea fi obținută în microfizică decît restabilind localizarea constantă a corpusculului în spațiu și timp, redînd undei o realitate fizică în sensul clasic al termenului și introducînd o reprezentare intuitivă, concretă asupra relației dintre corpuscul și undă [19]. Direcțiile în care se dezvoltă acum proiectul său de cercetare oglindesc foarte bine aceste aspirații, pe care le putem numi, fără teamă de a greși, *filosofice*. Astfel, de Broglie este preocupat de realizarea unei descrieri intuitive în spa-

---

că de Broglie nu a ezitat să prefațeze cu simpatie cărticica sa polemică *Réel et déterminisme dans la physique quantique*, publicată în 1933.

[18] Prezentînd ideile sale cu privire la „mediul subcuantic“, așa-numita termodinamică ascunsă a particulelor, de Broglie scria în 1964: „Nu pot decît să-mi doresc cu ardoare ca un număr mai mare de tineri cercetători să se intereseze de această încercare, căci pe această cale mi se pare că vor trebui să se realizeze cele mai mari progrese viitoare ale fizicii cuantice.“ (L. de Broglie /6/, pag. VI.)

[19] Unii autori au încercat să întemeieze concepția intuitivă a coexistenței particulei și undei de pe pozițiile materialismului dialectic. Coexistența particulei și a undei ar constitui forma majoră de exprimare a contradicției dialectice în microcosm. „Particulele microfizicii, de exemplu, sînt o unitate de momente opuse, contradictorii. Aici intervine o contradicție reală. Aceste particule nu sînt o dată punct material (corpuscul) și altă dată, în alt moment al timpului, cîmp material (undă), ci sînt o unitate dialectică a acestor însușiri ce se exclud reciproc, ele sînt undă și corpuscul, cîmp material și punct material (firește, nu în sens mecanic, ca puncte materiale rigide, neschimbătoare). Observația omenească nu le conferă aceste însușiri, ci le constată. Așa stînd lucrurile, nu este cîtuși de puțin de mirare că o observație ne permite să cunoaștem un aspect al particulei, o altă observație celălalt aspect.“ (H. Vogel, pag. 64—65.) Pentru critica încercărilor de a reuni „în maniera fizicii clasice“ reprezentările corpusculare și ondulatorii, vezi și M. E. Omeleanovschi, îndeosebi capitolul V § 3. Omeleanovschi insistă asupra deosebirii dintre noțiunile cuantice și noțiunile clasice de corpuscul și undă. Întrebarea este dacă contradicția dialectică dintre conceptele cuantice de corpuscul și undă, despre care vorbește Omeleanovschi, este, în ultimă instanță, altceva decît tot o „reunire“ a unor reprezentări, deci tot o imagine intuitivă, greu de conciliat cu sublinierea insistentă a caracterului abstract și neintuitiv al teoriei cuantelor.

țiu și timp a tranzițiilor de la o stare cuantică la alta, introducînd ipoteza unor procese tranzitorii foarte rapide, care ar putea fi descrise prin ecuații neliniare. (Vezi L. de Broglie /6/ și /8./ Pe de altă parte, el apreciază ideea „mediului subcuantic“, introdusă pentru prima dată de Bohm și Vigier, drept calea cea mai promițătoare pentru restabilirea inteligibilității descrierii teoretice în fizica atomică. De Broglie își reprezenta acest mediu ca un fel de termostat ascuns, cu care este în interacțiune continuă fiecare particulă de la nivel microfizic. Traiectoria particulei, reprezentată de unda Ψ, este perturbată continuu de interacțiunea ei cu mediul subcuantic, ceea ce face ca prezența ei într-un anumit punct al unei unde să nu poată fi determinată decît probabilistic. (Vezi L. de Broglie /6/, pag. 105—106.) Această idee i se părea deosebit de importantă în primul rînd pentru că prin elaborarea ei s-ar putea găsi o explicație a caracterului probabilistic al legilor mecanicii cuantice în acord cu punctul de vedere al fizicii clasice asupra probabilității, și anume că recursul la probabilități exprimă limitele cunoștințelor noastre asupra detaliilor unor procese care sînt în realitate strict determinate. (Pentru expunerea acestui punct de vedere vezi L. de Broglie /8/, pag. 34—35, 41—42 și 47—48.) În al doilea rînd, el spera că prin introducerea unui asemenea substrat va fi posibilă explicarea unei varietăți de fapte experimentale la nivel microfizic (cum ar fi „crearea“ și „anihilarea“ particulelor elementare) care par toate să indice că acest nivel este în interacțiune permanentă cu un nivel mai profund. (Vezi L. de Broglie /4/, pag. 184.)

De Broglie nu-și ascundea cîtuși de puțin motivările profunde de care se lăsa condus în opțiunile sale științifice. „Am văzut că legile de probabilitate, enunțate de teoria actuală, dau previziuni statistice bune. Se poate presupune, însă, că ele nu ating fondul lucrurilor și că ar fi cazul să se 'sape', dacă se poate spune așa, dedesubtul teoriei actuale pentru a regăsi o imagine concretă a realității fizice la scară foarte mică, care să fie compatibilă cu rezultatele statistice bine stabilite.“ (L. de Broglie /8/, pag. 46.) Aceasta este, cred, o exprimare extrem de sugestivă a motivației filosofice fundamentale a creatorilor teoriilor cu parametri ascunși. Aceștia erau fizicieni care nu acceptau să pună în discuție exigențele clasice ale descrierii și explicației fizice[20]. Dacă teoria nu satisface aceste exigențe, cărora ei le atribuiau, în mod spontan, o valoare absolută, ea nu oferă *înțelegere*. Or, tocmai acesta este cazul interpretării standard a mecanicii cuantice[21]. „Fondul lucrurilor“ este pentru de Broglie, și el nu se sfiește să o spună, o realitate fizică ce poate primi o descriere concretă în cadrele conceptuale ale fizicii clasice. Presupunerea cea mai firească este că o înțelegere autentică a efectelor cuantice va putea fi obținută abia odată ce cunoașterea noastră va pătrunde pînă la nivelul subcuantic al realității fizice, despre a cărui existență fizica contemporană ar furniza numeroase indicii. Acest nivel este caracterizat ca o infrastructură față de care nivelul microfizic reprezintă o suprastructură. (Vezi L. de Broglie /4/, pag. 184—185.) Prin studiul proprietăților mediului subcuantic și al interacțiunii lui cu nivelul microfizic am putea obține explicații care să țină pasul în ceea ce privește „claritatea“ și „raționalitatea“ cu cele ale fizicii clasice. Căci, teoriile cu parametri ascunși (în speță, pentru de Broglie, teoria dublei soluții combinată cu o termodinamică ascunsă a particulelor) ne-ar deschide perspectiva reală „de a reprezenta toate realitățile fizice prin imagini, în cadrul spațiului și timpului și de a atribui un determinism riguros evoluției lor“ (J. L. Destouches, pag. 68), în vreme ce „mecaniza cuantică nu ne-ar da o descriere a realității fizice așa cum este ea, *ci așa cum este posibil* să fie *observată folosind anumite metode“*. (Vezi M. A. Tonnelat, pag. 71.) Concluzia ce se impune, o dată ce acceptăm această supoziție, este că noua mecanică cuantică reprezintă doar o etapă pasageră în cadrul unui proces istoric care ne va conduce, în cele din urmă, la o cunoaștere mai profundă a realității fizice, și anume la o cunoaștere care ne va menține, în linii mari, în cadrul conceptelor și standardelor clasice.

---

[20] „Reprezentarea concretă a realității fizice în cadrul spațiului și al timpului cu conexiune cauzală a fost la originea tuturor progreselor științei moderne ; ea este conformă tendințelor profunde ale spiritului nostru, și dacă ne abatem de la ea încetăm să o înțelegem.“ (L. de Broglie /8/, pag. 51.)

[21] „Dacă folosirea cuvîntului ’complementaritate’ servește numai pentru a traduce apariția succesivă de aparențe corpusculare și ondulatorii în fenomene incontestabile, această folosire este cu totul legitimă, în schimb ea nu constituie nicidecum o explicație reală a dualității undelor și corpusculilor. Complementaritatea poate fi comparată cu ’virtutea dormitivă’ a opiului, de care și-a bătut joc Molière : este perfect legitim să traducem proprietățile specifice ale opiului atribuind acestui substrat o ’virtute dormitivă’, dar trebuie să ne ferim a vedea în acest cuvînt o explicație a acestor proprietăți.“ (L. de Broglie /8/, pag. 29—30.)

Discuțiile asupra fundamentelor mecanicii cuantice, pe care le-au generat teoriile cu parametri ascunși (așa-numita „controversă a parametrilor ascunși“) poartă în principal asupra orientării strategice a cunoașterii în fizica atomică. Substratul filosofic al dezacordului era evident atît pentru apărătorii cît și pentru criticii acestor teorii, chiar dacă unii dintre critici au susținut că lipsa de consistență a teoriilor cu parametri ascunși ar putea fi probată numai cu argumente fizice, menținîndu-ne pe un plan strict tehnic.[22] În general, critica filosofică a teoriilor cu parametri ascunși a fost întreprinsă de susținătorii interpretării standard pe două linii principale.

În prima linie, pe care am putea-o numi istorico-filosofică, accentul cădea asupra ideii că o presupusă reîntoarcere la descrierea realității fizice în termenii imaginilor concrete, utilizate în fizica clasică, este în contradicţie cu tendinţa generală de evoluţie ce poate fi desprinsă din întreaga dezvoltare istorică de pînă acum a cunoaşterii fizice. Iată cum se exprimă. în această privinţă, Pauli într-o scrisoare adresată lui Born (1952) : „Împotriva tuturor eforturilor reacţionare (Schrödinger, Bohm şi alţii, iar într-o anumită măsură şi Einstein) sînt convins că caracterul statistic al funcţiei ψ şi totodată al legilor naturii — pe poziţiile căreia dumneavoastră v-aţi menţinut de la început, împotriva rezistenţei lui Schrödinger — va determina stilul legilor, cel puţin cîteva secole. S-ar putea ca mai tîrziu să se găsească, de pildă, în legătură cu procesele vitale, ceva cu totul nou, dar să visezi despre un drum înapoi, înapoi la stilul clasic al lui Newton-Maxwell (şi sînt numai vise, cărora, li se abandonează aceşti domni) mi se pare fără speranţă, eronat, de prost gust. Şi am putea să adăugăm, nici nu este vorba măcar de un vis frumos." (Citat după M. Born /4/, pag. 85.) Această temă a fost reluată de multe ori de fizicienii fideli interpretării standard în consideraţiile lor critice asupra programului lui Einstein sau Schrödinger şi îndeosebi asupra teoriilor cu parametri ascunşi. Astfel, L. Rosenfeld admite că mecanica cuantică are, ca orice teorie ştiinţifică, limite ; ea nu va putea fi aplicată, probabil, crede el, la dimensiuni spaţiale şi temporale foarte mici. Nu există însă nici o bază experimentală pentru aserţiunea că limitele exprimate de relaţiile de imprecizie nu vor fi valabile şi pentru un presupus nivel subcuantic. „Adevărata cale a progresului viitor în acest domeniu este clar indicată : noile idei de care avem nevoie vor fi obţinute nu printr-o reîntoarcere la un mod de descriere care s-a dovedit deja prea îngust, ci printr-o extindere raţională a teoriei cuantice." (L. Rosenfeld /3/, pag. 45.)

---

[22] Pauli și Heisenberg, de exemplu, au adoptat în această privință atitudini oarecum diferite. Primul încheia un articol publicat în volumul omagial consacrat lui L. de Broglie, articol ce reprezintă probabil prima critică sistematică a teoriilor cu parametri ascunși de pe pozițiile interpretării standard, cu următoarea remarcă semnificativă : „Aceste motive fizice, care nu au nimic de a face cu prejudecăți filosofice privitoare la interpretarea și justificarea teoriilor fizice în general, mă fac să gîndesc că interpretarea mecanicii cuantice bazată pe ideea complementarității este singura admisibilă.“ (W. Pauli /3/, pag. 42.) Pauli pare să nu observe, în acest caz, că argumentele sale tehnice sînt constrîngătoare numai pentru cel care acceptă în prealabil anumite supoziții filosofice-cadru. Heisenberg s-a străduit și el să producă argumente tehnice împotriva parametrilor ascunși, reluînd observația lui Pauli că prin introducerea parametrilor ascunși sînt distruse proprietățile de simetrie ale teoriei cuantice și că asimetria ce se creează în acest fel nu poate fi justificată nici matematic, nici experimental, dar el nu a împărtășit optimismul lui Pauli cu privire la posibilitatea de a tranșa rapid această dispută, exclusiv cu argumente tehnice. Referindu-se, bunăoară, la opinia lui Bohm că existența parametrilor ascunși va fi pusă în evidență în experimente cu privire la procese ce au loc la dimensiuni sub 10^{-13} centimetri, Heisenberg admitea că nu există temeiuri logice constrîngătoare împotriva „unei eventuale schimbări a mecanicii cuantice în sensul lui Bohm“. (Vezi W. Heisenberg /2/, pag. 418.)

A doua linie a criticii poate fi calificată drept metodologică, vizînd reliefarea caracterului artificial, *ad hoc* al teoriilor cu parametri ascunşi. O asemenea critică poate fi întîlnită, într-o formă sau alta, la cei mai proeminenţi adversari ai parametrilor ascunşi, dar a fost dezvoltată cu deosebire de către Heisenberg. Teoriile cu parametri ascunşi, cum sînt cele propuse de Bohm, de Broglie şi Vigier, argumentează Heisenberg, nu sînt de fapt noi teorii fizice, ci doar reinterpretări filosofice ale mecanicii cuantice ; din ele pot fi deduse aceleaşi fapte experimentale ca şi din formalismul mecanicii cuantice. Autorii acestor teorii acceptă deci interpretarea dată datelor experimentale de şcoala de la Copenhaga, dar resping interpretarea filosofică generală propusă de această şcoală, avansînd o altă interpretare. Ei încearcă deci să schimbe filosofia, fără a schimba fizica. (Vezi W. Heisenberg /4/, pag. 417—418.) În judecata lui Heisenberg, teoriile cu parametri ascunşi rămîn o „suprastructură ideologică" a cărei funcţie principală este de a salva prejudecăţile filosofice ale unor fizicieni, cel puţin atît timp cît existenţa unor asemenea parametri nu a fost probată prin succesul experimental al predicţiilor derivate din supoziţii specifice privitoare la caracteristicile lor de stare. În momentul în care existenţa parametrilor ar fi probată experimental, mecanica cuantică va fi infirmată ca teorie fizică şi înlocuită cu o nouă teorie a proceselor atomice. Atît timp cît asemenea probe nu au fost produse, teoriile de acest tip nu exprimă decît speranţe şi aşteptări destul de vagi, hrănite de ataşamentul autorilor lor pentru idei filosofice tradiţionale, de lipsa lor de dorinţă de a accepta o schimbare profundă în standardele descrierii şi explicaţiei fizice. Heisenberg sugerează că din punctul de vedere al omului de ştiinţă teoriile cu parametri ascunşi apar drept creaţii artificiale, lipsite de o reală justificare metodologică. Statutul acestor teorii ar putea fi mai bine înţeles prin analogie cu o ipotetică reinterpretare a teoriei relativităţii în cadrul căreia spaţiul şi timpul absolute ar fi reintroduse ca „parametri ascunşi". O asemenea reinterpretare ar putea fi apărată spunîndu-se că dacă experienţele relativiste obişnuite nu pun în evidenţă existenţa spaţiului şi timpului absolute, aceasta nu ar dovedi lipsa lor de realitate. O ipotetică lărgire şi aprofundare a experienţei fizice ar putea schimba situaţia. Indicaţiile experienţei actuale nu ar trebui absolutizate[23]. Heisenberg lasă să se înţeleagă că se poate recurge întotdeauna la argumente de acest tip pentru a încerca justificarea unei anumite perspective filosofice, dar că ele nu spun mare lucru fizicianului creator, atît timp cît asemenea speculații nu și-au dovedit valoarea euristică[24]. „Nu poate fi sarcina noastră de a formula puncte de vedere despre modul cum trebuie să fie fenomenele atomice; sarcina noastră este doar să le înțelegem.“ (W. Heisenberg 5/, pag. 129.)

---

[23] Apărătorii interpretării standard critică de obicei asemenea sugestii recomandînd, pe linia tradiţiei empiriste, mai multă reţinere faţă de ipoteze ce nu pot fi controlate prin consecinţele lor experimentale şi nu şi-au dovedit încă valoarea euristică. Ipotezelor despre parametri ascunşi nu ar trebui să li se acorde o prea mare importanţă atît timp cît nu avem indicaţii empirice cît de cît clare cu privire la existenţa unor asemenea parametri. Nu există raţiuni pentru a presupune că

Promotorii teoriilor cu parametri ascunși au răspuns destul de ușor argumentului istorico-filosofic. Dezvoltarea științei exacte poate fi privită din mai multe puncte de vedere și există întotdeauna posibilitatea de a documenta din punct de vedere istoric viziuni diferite asupra tendinței generale a evoluției gîndirii științifice. Ideea structurării în adîncime, pe niveluri, a realității fizice, pe care au dezvoltat-o în forme diferite și cu accente specifice Bohm, Vigier și de Broglie, reprezintă una dintre aceste viziuni posibile. În cadrul ei, progresul cunoașterii fizice apare ca o succesiune ciclică de reprezentări mai concrete și mai abstracte asupra entităților ce constituie realitatea fizică și asupra legilor care le guvernează; pătrunderea cunoașterii de la un nivel al realității fizice la altul, mai profund, permite explicarea unor aproximații științifice, utilizate pînă atunci, prin descrierea în termenii unor reprezentări clare și a unor imagini concrete a substratului mai adînc, pînă atunci ascuns; pe de altă parte, la acest nou nivel efectele aleatorii ale interacțiunii entităților sale specifice cu un mediu (nivel) și mai adînc, încă ascuns, vor face necesare din nou, recursul la considerații probabiliste. Această perspectivă generală asupra dezvoltării cunoașterii fizice, care poate fi susținută prin apel la date și episoade istorice selecționate în

---

oricărei legi statistice îi corespunde un substrat determinist mai profund. Faptul dacă un asemenea substrat există sau nu ar trebui decis prin experiență, și nu *a priori*. (Vezi L. Rosenfeld /3/.)

[24] Aceste temeiuri ale reticenței, dacă nu ale antipatiei fizicianului creator față de construcții științifice de acest tip, bineînțeles dacă el nu împărtășește convingerile filosofice ale „constructorilor“, transpar din judecata aspră formulată de V. A. Fok: „O trăsătură comună a acestor încercări este caracterul lor extrem de artificial și absența completă a oricărei valori euristice; autorii acestor încercări nici nu se gîndesc să rezolve o problemă nouă. Dimpotrivă, raționamentele lor erau adaptate (și aceasta nu în mod convingător) în așa fel, încît să se potrivească cu rezultatul cunoscut din mecanica cuantică.“ (Vezi V. A. Fok /1/, pag. 94.)

mod adecvat, devine idee directoare în orientarea cercetării şi justificare pentru programe de cercetare bazate pe ipoteze privitoare la parametri ascunşi. Bohm, de exemplu, se plasa clar într-o asemenea perspectivă cînd afirma că „teoria cuantică nu este destul de completă pentru a trata toate detaliile precise ale mişcării electronilor individuali, cuantelor de lumină etc. Pentru a trata asemenea detalii trebuie să trecem la un nivel mai profund, astăzi necunoscut, care are aceeaşi relaţie cu nivelul atomic, ca şi nivelul atomic cu mişcarea browniană“. (D. Bohm /1/, pag. 80.) Aproximaţiile statistice ale teoriei cuantice actuale exprimă fluctuaţiile întîmplătoare, datorate acţiunii unor entităţi încă necunoscute, de la un nivel mai adînc. Bohm compara opoziţia susţinătorilor interpretării standard a mecanicii cuantice faţă de teoriile cu parametri ascunşi cu opoziţia lui Mach faţă de atomism. (Vezi D. Bohm /1/, pag. 99.) Această opoziţie este, după aprecierea lui Bohm, nu numai nejustificată din punct de vedere filosofic, dar şi dăunătoare sub aspect ştiinţific, fiindcă nu favorizează concentrarea eforturilor cercetătorilor spre cunoaşterea unor niveluri subcuantice ale realităţii fizice. Aceste niveluri trebuie să fie destul de numeroase şi complexe pentru a putea atribui variabilelor mecanicii cuantice o mişcare aleatorie de aşa fel încît relaţiile de imprecizie să fie satisfăcute. Ele sînt, unele în raport cu celelalte, într-o relaţie asemănătoare cu cea dintre nivelul molecular şi mişcarea browniană. (Vezi D. Bohm /2/, pag. 34.) Vigier invocă de asemenea istoria fizicii în sprijinul punctului de vedere că presupuneri care nu au avut o bază experimentală directă pot duce la descoperirea unor fapte experimentale importante. Deşi totul este decis în fizică prin experiment, se poate spune în schimb că teoriile noi nu au fost introduse întotdeauna pe baze experimentale. (Vezi J. P. Vigier /1/, pag. 49.)

Poziţia cea mai radicală în ceea ce priveşte aprecierea tendinţei generale de dezvoltare a cunoaşterii fizice şi a indicaţiilor pe care ni le oferă considerarea acestei tendinţe pentru orientarea viitoare a cercetătorilor în microfizică a fost adoptată de către de Broglie. Din punctul de vedere al lui de Broglie numai satisfacerea exigenţelor tradiţionale ale reprezentării concrete a entităţilor, mişcărilor şi proceselor fizice poate asigura inteligibilitatea descrierii teoretice în general. El susține deschis că strădaniile lungii sale cariere de cercetare au fost permanent stimulate și orientate de năzuința de a păstra „în liniile lor mari, concepțiile clasice, din cauza clarității și raționalității lor“. (Vezi L. de Broglie /8/, pag. 37.) Începînd din jurul anului 1950, pe primul plan al preocupărilor sale a stat prospectarea posibilităților de reîntoarcere la „reprezentările concrete în microfizică“ [25]. Interpretarea pe care o dă de Broglie caracterului probabilistic al ecuației de undă ilustrează în mod izbitor perspectiva filosofică generală a marelui fizician francez, precum și căutarea insistentă a unor analogii istorice ce o pot susține. Ce înseamnă de fapt, se întreabă de Broglie, că localizarea unei particule într-o undă, care umple o regiune a spațiului, este incertă și nu poate fi aproximată decît probabilistic ? Două răspunsuri sînt în principiu posibile : a) particula are în fiecare moment o poziție într-o anumită regiune a spațiului, dar noi nu o cunoaștem ; b) poziția particulei este în mod real nedeterminată, ea este într-un anumit sens omniprezentă [26]. „Toate reflecțiile mele asupra acestei probleme, în acești ultimi ani, m-au condus să cred că prima interpretare este clară și cu totul naturală, în timp ce este foarte greu să dăm celei de a doua o semnificație cu adevărat satisfăcătoare.“ (L. de Broglie /10/, pag. 52.) Credința profundă și neclintită a autorului rămîne că singura posibilitate de a înţelege afirmaţia că electronul are o anumită probabilitate de a fi prezent în atomul de hidrogen, într-o anumită regiune, este de a admite că această particulă este în mod permanent supusă unei mişcări browniene, care o face să se deplaseze în mod continuu şi aleatoriu în atom. Şi cum ştim că mişcarea browniană a unei particule rezultă dintr-o interacţiune continuă, întîmplătoare dintre particulă şi un mediu ascuns, cu care se găseşte în contact energetic permanent, vom fi conduşi să examinăm într-o lumină nouă, pe baza termodinamicii ascunse a particulelor, raportul dintre mecanică şi termodinamică. De Broglie mărturiseşte că încearcă din jurul anului 1960 să deschidă o nouă cale de dezvoltare a fizicii atomice, a cărei inspiraţie fundamentală este bine exprimată în următoarea formulare : „În timp ce în urma lucrărilor lui Boltzmann şi ale continuatorilor săi, termodinamica a apărut ca o ramură complicată a dinamicii, în teoria mea actuală dinamica este cea care apare ca o ramură simplificată, ca o degenerare a termodinamicii." (L. de Broglie /11/, pag. 16.) Se poate înţelege că speranţa de a realiza, pe această bază, o răsturnare a cursului general în care s-a dezvoltat fizica de la începutul secolului a transmis gîndirii lui de Broglie o asemenea tensiune încît el a putut mărturisi că epoca ce a urmat împlinirii vîrstei de şaptezeci de ani (1962) a fost din punct de vedere intelectual poate epoca cea mai frumoasă a vieţii sale !

---

[25] De Broglie lasă clar să se înțeleagă că motivul ultim al opoziției sale față de interpretarea școlii de la Copenhaga este repulsia instinctivă pe care i-o trezește caracterul ei extrem de abstract și neintuitiv. „Chestiunea este de a ști dacă această renunțare foarte gravă este, într-adevăr, necesară, și dacă nu s-ar putea, cu ajutorul unor concepții noi și a unor analize mai aprofundate, să se revină la o reprezentare concretă a realităților microfizice, care se apropie de acelea de tip clasic. Personal cred, astăzi, că acest lucru este realizabil și că trebuie făcute eforturi mari pentru a ajunge la el.“ (L. de Broglie /8/, pag. 51.)

[26] În prefața ultimei sale culegeri de articole, de Broglie susține că, dacă considerăm electronul drept o particulă foarte mică, o asemenea afirmație ar fi tot atît de puțin acceptabilă ca și aceea că o anumită persoană, despre care se știe că este cu anumită probabilitate într-un cartier sau altul al unui oraș mare ca Parisul, ar fi răspîndită în stare potențială în întreg orașul. (Vezi L. de Broglie /11/, pag. 15.) Este greu să găsim o mai bună ilustrare a refuzului de a recunoaște vreun specific al situației de cunoaștere din fizica atomică în raport cu cea din fizica clasică !

Susţinătorilor teoriilor cu parametri ascunşi le-a fost desigur mai greu să răspundă criticii metodologice, care acuză caracterul artificial şi *ad hoc* al acestor construcţii. În acest caz, răspunsul nu poate fi dat prin contraargumente istorico-filosofice, ci numai prin producerea de rezultate fizice noi. Provocarea pe care o conţine această critică la adresa teoriilor cu parametri ascunşi a fost formulată cel mai clar de către Pauli, care scria încă în 1953 : „Este evident că parametri suplimentari nu ar avea sens decît dacă teoria actuală ar permite o asemenea generalizare încît, pe de o parte, aceşti parametri să se poată manifesta (cît de indirect) iar, pe de altă parte, rezultatele asigurate ale mecanicii ondulatorii să fie şi ele conţinute în teoria generalizată. Nici un autor nu a reuşit pînă în prezent să realizeze simultan aceste două postulate..." (W. Pauli /3/, pag. 40.) Bohm, Vigier, de Broglie au acceptat provocarea cuprinsă în aceste aprecieri, admiţînd că orice speculație teoretică trebuie să fie justificată, în cele din urmă, prin producerea unor rezultate fizice noi[27]. De-a lungul anilor, ei au făcut mari sforțări pentru a ajunge la o teorie fizică care să satisfacă exigențe de felul celor formulate de Pauli. Bohm, bunăoară, răspunzînd observației lui Heisenberg că teoriile cu parametri ascunși nu ar reprezenta de fapt decît o „suprastructură ideologică", că ele nu pot aduce nimic nou din punct de vedere fizic, aprecia că acestea pot să conducă la predicții teoretice noi. Deosebirile dintre predicțiile mecanicii cuantice și predicțiile noii teorii ar fi însă sensibile și ar putea fi deci bine puse în evidență doar în domenii încă puțin cercetate. (Vezi D. Bohm /4/, pag. 45.) Vigier recunoștea de asemenea că valoarea fizică a noii teorii va trebui judecată, în cele din urmă, în funcție de rezultatele cercetărilor experimentale. „Dar — avertiza el — nu trebuie să privim relația între teorie și experiment într-un mod prea dogmatic. Trebuie să așteptăm pînă teoria se va dezvolta." (J. P. Vigier /1/, pag. 50.) Amîndoi nădăjduiau că noua teorie va putea prezice cu succes rezultate experimentale noi în domeniul energiilor înalte. Confirmarea acestor speranțe s-a lăsat însă așteptată. Pe măsură ce timpul trecea fără ca promisiunile făcute să poată fi împlinite, interesul fizicienilor pentru acest gen de teorii scădea tot mai mult. Mulți fizicieni și filosofi ai științei erau înclinați să creadă că Bohm, Vigier sau de Broglie au rămas de fapt în stadiul formulării unor predicții cu privire la direcția dezvoltării viitoare a cunoașterii fizice, și anume a unor predicții care nu s-au confirmat[28]. Atît timp cît acest stadiu nu va fi depășit, preocupările lor nu ar mai merita deci multă atenție. Comentînd în 1965 corespondența lui cu Einstein, Born caracteriza încercările lui Bohm și de Broglie ca fiind deja „complet uitate". (Vezi M. Born /6/, pag. 207.) Cu alte cuvinte, pentru Born, ca și pentru mulți dintre colegii lui care acceptau interpretarea standard, insuccesul încercărilor de a elabora o alternativă autentică la teoria existentă apărea ca o dovadă neîndoielnică a eșecului acestui program. Am greși totuși dacă am pierde din vedere substratul filosofic al unor asemenea aprecieri. Toată lumea va fi desigur de acord că schițele teoretice care întîrzie să producă rezultate fizice palpabile devin tot mai puțin credibile pe măsură ce trece timpul. Nimeni nu poate indica însă o limită bine precizată de timp, dincolo de care speranțele în realizarea unui asemenea proiect științific vor trebui abandonate de către orice fizician competent și obiectiv. În 1966, la aproximativ un an după ce Born a făcut această remarcă, Bohm în colaborare cu J. Bub, stimulat de un articol, devenit mai tîrziu celebru, al lui J. Bell, în care se caracteriza o teorie cu parametri ascunși din care puteau fi derivate rezultatele statistice ale mecanicii cuantice, a publicat o nouă lucrare, ce relua încercările pe care le-a inițiat în 1952. Dar în anul 1975, Bohm recunoștea că nu mai crede în posibilitatea de a-și realiza proiectul și că lumea fizicienilor este tot mai puțin interesată de asemenea idei. (Vezi T. J. Pinch, pag. 192.) De Broglie, în schimb, le urmărește mai departe și nu ezită să califice perioada care începe din jurul anului 1962, cînd ele devin principala sa preocupare, ca fiind, poate, epoca cea mai frumoasă a vieții sale de fizician. Și nu se poate spune că întreaga sa comportare, în particular o asemenea declarație, l-ar fi compromis, ca specialist, în ochii colegilor.

---

[27] „Natural, teoria a trebuit să fie dezvoltată în așa fel, încît să definească relația dintre funcțiile de realitate și funcția de undă, și să evidențieze relația amîndurora față de experiment. Firește, aceasta s-ar putea face în mod adecvat numai dacă găsim o cale care să îmbogățească, să dezvolte și să extindă legile teoriei cuantelor în așa fel încît realitățile fizice să înceteze să mai fie pur „metafizice" și, în schimb, să joace un rol real și esențial atît în teorie, cît și în experiment." (D. Bohm /4/, pag. 43—44.)

[28] În cadrul unui seminar de filosofia științei, care a avut loc la Bristol în aprilie 1957, seminar în care s-a acordat un loc larg discuțiilor asupra mecanicii cuantice, St. Körner, adresîndu-se lui Bohm, care tocmai publicase cartea sa consacrată fundamentării filosofice a teoriilor cu parametri ascunși, a exprimat foarte bine această stare de spirit: „Ceea ce dumneavoastră faceți mai interesant și mai provocator în cartea dumneavoastră este de a formula anumite principii generale ale

Ce raport există între proiectul einsteinian de interpretare „deterministă" a mecanicii cuantice, în cadrele unei teorii unitare a cîmpului, și teoriile cu parametri ascunși ? Se știe că mulți dintre autorii care propun introducerea de parametri ascunși în fizica atomică au apelat în critica interpretării standard la autoritatea

---

teoriilor dezirabile, decît asemenea teorii propriu-zise." (St. Körner, pag. 111.) Pentru practicianul cercetării, preocupările de acest fel țin mai degrabă de domeniul *metafizicii* decît de cel al *fizicii*.

creatorului teoriei relativității. Este firesc să ne întrebăm cum aprecia Einstein, la rîndul lui, aceste teorii mult discutate în ultimii ani ai vieții sale. Deși nu sînt numeroase, informațiile pe care le avem în această privință sînt concludente și prezintă un interes deosebit din punct de vedere filosofic. Ca și creatorii teoriilor cu parametri ascunși, Einstein aprecia că mecanica cuantică este o teorie incompletă și provizorie, că legile fizicii atomice nu sînt legi probabiliste ireductibile și că aceste legi vor putea fi derivate, în cele din urmă, din principiile unei teorii mai cuprinzătoare, de tip clasic. Obiectivele fundamentale ale celor două orientări erau deci comune, dar Einstein nu credea că fizicienii care propuneau teorii bazate pe parametri ascunși caută în direcția cea bună. Într-o scrisoare către Born din 12 mai 1952, Einstein amintește în treacăt de interpretarea deterministă dată de Bohm mecanicii cuantice pe care o califică drept „prea facilă“. (Vezi M. Born /6/, pag. 207)[29]. Bohm însuși relata mai tîrziu că Einstein a considerat interpretarea lui ca „artificială“. (Vezi T. J. Pinch, pag. 183.) În volumul omagial care a fost dedicat lui Born, cu ocazia retragerii sale, de către Universitatea din Edinburg (1953), Einstein a formulat unele obiecții tehnice la adresa proiectului lui Bohm, la care acesta din urmă a răspuns, în același volum. Apoi Einstein nu a fost în măsură sau nu a socotit de cuviință să continuie această discuție. Semnificația atitudinii sale este însă clară. Dincolo de rezervele unui teoretician atașat ferm ideii continuului față de tendința lui Bohm de a accentua aspectul discontinuu, corpuscular, creatorul teoriei relativității nu credea în posibilitatea reîntoarcerii la reprezentări concrete în microfizică, care era promovată, cum am văzut, într-o formă sau alta, de diferitele teorii cu parametri ascunși. Convingerea lui Einstein era că restabilirea idealurilor clasice ale descrierii și explicației fizice nu va fi posibilă decît în cadrul unei teorii generale a cîmpului de un înalt nivel de abstracție, care va marca un pas mai departe în direcția îndepărtării cunoașterii teoretice de gîndirea intuitivă, în imagini concrete. Ca și Planck, Einstein a considerat întotdeauna că apropierea gîndirii noastre de realitatea fizică se realizează printr-o îndepărtare continuă de lumea concretă, senzorială, că structurile matematice abstracte sînt, în ultimă instanță, principiul creator în cunoașterea fizică[30]. Spre deosebire de L. de Broglie, Einstein socotea interpretarea ortodoxă drept inacceptabilă nu datorită caracterului ei abstract, neintuitiv, și în acest sens „neinteligibil", ci datorită renunțării la idealurile „obiectivității" și „determinismului" în descrierea realității fizice. Unii istorici ai teoriei cuantelor merg chiar mai departe, susținînd că Einstein nu a fost de acord cu una din supozițiile fundamentale ale principiului complementarității, necesitatea menținerii conceptelor clasice în teoria cuantică. Einstein ar fi considerat interpretarea standard ca fiind, din acest punct de vedere, conservatoare și va fi socotit că ea va fi depășită, în cele din urmă, prin renunțarea la conceptele clasice. „Poziția lui Einstein față de problema cuantelor — afirmă M. Jammer — a fost mai radicală decît cea a susținătorilor teoriei ortodoxe. Căci el era gata să înlocuiască conceptele clasice cu concepte principial noi pentru a cuprinde materialul empiric, fără a renunța la cerința realității *(Realitätsförderung)*." (M. Jammer /3/, pag. 164.) Într-o asemenea interpretare, supozițiile poziției lui Einstein apar ca foarte apropiate de cele ale unor critici contemporani ai școlii de la Copenhaga.

---

[29] În 1953, Einstein se explica astfel într-o scrisoare către A. Kupperman : „Cred că nu se poate ajunge la o descriere a sistemelor individuale prin simple completări ale teoriei statistice actuale a cuantelor.“ (Citat după M. Jammer /2/, p. 254.)

Chiar dacă dezacordul între Einstein, pe de o parte, și creatorii teoriilor cu parametri ascunși, pe de altă parte, are un substrat filosofic semnificativ, acesta este totuși, în cele din urmă, un dezacord cu privire la căile de realizare a unor obiective împărtășite în comun. Cele două părți credeau că teoria cuantică, în interpretarea ei curentă, nu oferă o *înțelegere* a lumii atomice, în sensul pe care îl dădeau acestui cuvînt. Teoreticianul nu ar trebui să se lase abătut în nici un fel de condiții și cu nici un fel de argumente de la idealul descrierii lumii fizice în spațiu și timp, așa cum există ea independent de actul observației și măsurătorii. Numai o teorie care oferă o asemenea descriere a unui sistem ar trebui să fie considerată o teorie fizică satisfăcătoare[31]. Este semnificativ că Einstein i-a încurajat pe de Broglie în 1927 (vezi M. A. Tonnelat, pag. 37) și, mai tîrziu, pe Bohm (vezi T. J. Pinch, pag. 183) să-și continue eforturile de elaborare a unor alternative la interpretarea standard a mecanicii cuantice, deși a avut rezerve față de unele din ideile de bază ale acestor proiecte științifice. Este de presupus că marele fizician a apreciat în mod pozitiv aceste tentative, nu numai pentru contribuția pe care o puteau avea la slăbirea rigidității tradiției statornicite, care devenise, după părerea lui, un obstacol în calea căutării unor noi direcții de dezvoltare a teoriei, ci și pe temeiul conștiinței unei comunități de idealuri științifice. Același sentiment a fost împărtășit, fără îndoială, și de către de Broglie și explică, cred, apelul insistent la autoritatea științifică a lui Einstein, care străbate opera sa tîrzie. Acești remarcabili savanți-filosofi ai secolului nostru și cei care i-au urmat admiteau desigur că fizicienii vor căuta întotdeauna adevărul pe căi diferite, conduși de intuiții diferite, dar au crezut, se pare, că ei trebuie să rămînă întotdeauna fideli unei anumite reprezentări despre adevărul științific. Această reprezentare — înțelegerea rațională a lumii reale așa cum este ea, independent de natura mijloacelor noastre de investigație (ceea ce Einstein numea eliptic „cerința realității“) — poate fi caracterizată drept sîmburele ireductibil și inalienabil al ideii lor despre știința teoretică. Este vorba de o opțiune ce nu poate fi negociată, de o exigență absolută care nu poate fi pusă în discuție[32]. Cei care gîndesc și procedează altfel sărăcesc și deformează în mod iremediabil ideea cunoașterii teoretice. Căci, ei caută avantaje de însemnătate relativă prin sacrificarea valorilor fundamentale care conferă un sens și o demnitate superioară oricărui efort de cunoaștere. Nici un compromis nu este posibil cu această tendință pragmatică care și-ar fi găsit o încorporare atît de atrăgătoare și convingătoare în interpretarea „ortodoxă" a mecanicii cuantice. În chestiuni de asemenea gravitate, care privesc concepția asupra științei și destinul științei, succesele sau insuccesele pe termen scurt nu pot fi considerate concludente. Valorile științifice fundamentale, ca și valorile morale fundamentale [33], trebuie apărate cu intransigență oricît de mare ar fi izolarea în care ne-ar putea împinge fidelitatea necondiționată față de ele. Verdictul este rezervat, în cele din urmă, istoriei. Cum obișnuia să spună de Broglie, „viitorul se află în poala zeilor".

---

[30] Putem deci aprecia că acele rezerve și critici la adresa proiectului științific urmărit de Einstein în a doua parte a vieții sale, care îi atribuiau intenția de a restabili pur și simplu conceptele fizicii clasice (vezi W. Pauli /2/, pag. 158 și îndeosebi W. Heitler, pag. 198), nu pornesc de la o înțelegere pe deplin adecvată a poziției și năzuințelor sale.

---

[31] Polemizînd în 1955 cu criticii școlii de la Copenhaga, Heisenberg se exprima astfel în ceea ce privește elementele de convergență în concepțiile lor filosofice: „Toți adversarii teoriei cuantelor sînt însă de acord asupra unui punct: după părerea lor, ar fi de dorit să ne întoarcem la reprezentarea despre realitate a fizicii clasice sau, mai general, la ontologia materialismului, adică la reprezentarea despre o lume obiectivă, reală, ale cărei părți cele mai mici există în mod obiectiv, în același fel ca pietrele și copacii, indiferent dacă le observăm sau nu.“ (W. Heisenberg /4/, pag. 416—417.) Faptul că Heisenberg identifică materialismul filosofic în general cu „reprezentarea despre lume a fizicii clasice“ este caracteristic pentru ideile asupra materialismului care circulau în mediul intelectual în care s-a format și a trăit marele fizician atomist.

[32] Sentimentul acestui contrast între caracterul failibil al judecăților noastre și caracterul absolut, neproblematic al cri-

Oricît de complexe și diferite ar fi presupozițiile filosofice de care s-au lăsat conduși și orientați în cercetările lor oameni ca Einstein și de Broglie, proiectele lor științifice poartă pecetea unei fidelități nestrămutate față de valori și idealuri consacrate de știința clasică. În acest sens, și numai în acest sens, poate fi calificată poziția lor principială și orientarea lor strategică în fizica atomică drept „conservatoare". Opțiunea lor a deschis, cum am văzut, o prăpastie între ei și acei fizicieni atomiști care apreciau că, în dezvoltarea cunoașterii naturii, fizica atomică modernă marchează un punct critic, punct în care adaptarea gîndirii noastre la noua experiență reclamă reevaluări și restructurări în chiar standardele descrierii și explicației teoretice. Confruntarea dintre asemenea exigențe și atitudini intelectuale fundamental ireductibile și-a pus pecetea și asupra discuțiilor mai recente privitoare la fundamentele teoriei cuantelor.

---

teriilor după care se orientează, în ultimă instanță, aceste judecăți era evocat adesea de Einstein prin metafore și aforisme de o mare forță sugestivă. „Adesea el spunea cînd o nouă teorie îi apărea arbitrară sau artificială : 'Bunul Dumnezeu nu face așa ceva' *(so etwas tut der liebe Gott nicht)*. Am simțit de multe ori și am spus uneori că Einstein era în relații deosebit de strînse cu Dumnezeul lui Spinoza." (A. Sommerfeld, pag. 103.)

[33] „Singurul lucru pe care individul poate să-l facă este să dea exemplu de onestitate și să-și apere convingerile morale într-o societate de cinici", îi scria Einstein lui Born. (Vezi M. Born /6/, pag. 164.)

Capitolul V

Interpretări „obiective” sau realiste, ca expresii ale unei „insatisfacţii filosofice“ faţă de interpretarea standard a mecanicii cuantice

> „În ciuda acestui succes, recunoscut de toată lumea, disputa asupra problemelor fundamentelor aceleiaşi mecanici cuantice nu s-a oprit niciodată. Începînd cu aşa-numita interpretare de la Copenhaga, aceste discuţii au afectat odinioară o mare parte a comunităţii fizicienilor. Ele au putut să apară, la început, ca un alt exemplu al binecunoscutului fenomen că obişnuinţe vechi de gîndire rezistă oricărei schimbări semnificative, astfel incit generaţia următoare de fizicieni va accepta noul mod de a raţiona drept pe deplin evident. Problemele de altădată ar fi devenit pseudoprobleme, a căror discuţie va înceta încetul cu încetul, pentru a spune aşa... Dar ceea ce s-a întîmplat de fapt a fost ceva cu totul diferit. Fiecare nouă generaţie a pus la îndoială, în mod serios, soluţiile oferite şi controversa a reînceput tot timpul, într-o formă nouă... “
>
> *G. LUDWIG* (1971)

Criticile la adresa interpretării standard a mecanicii cuantice, mai ales cele formulate de fizicieni cu autoritatea unui Einstein, Schrödinger sau de Broglie, au provocat, cum am văzut, numeroase reacţii din partea promotorilor şi susţinătorilor acestei interpretări. Discuţiile şi polemicile, adesea foarte ascuţite şi puternic colorate afectiv, ocupă un loc considerabil atît în publicaţiile filosofice, cît şi în cele de fizică, îndeosebi începînd din jurul anului 1950. Şi dacă Bohr s-a mulţumit, în general, să reia în lucrările sale filosofice mai tîrzii explicarea principiului complementarităţii, Heisenberg a încercat, în schimb, să dezvolte concepţia şcolii de la Copenhaga, acordînd o atenţie deosebită elaborării noţiunii de realitate fizică în mecanica cuantică, prin raportare la concepte ale filosofiei tradiţionale, în primul rînd la conceptul aristotelic de virtualitate *(potentia)*. Această problematică reprezintă o temă centrală a lucrărilor filosofice ale lui Heisenberg din anii '50. Amintesc, în primul rînd, cunoscutul său articol *Dezvoltarea interpretării mecanicii cuantice*, publicat pentru prima dată în 1955 în volumul omagial dedicat celei de a 70-a aniversări a lui N. Bohr, şi cartea sa *Fizică şi filosofie*, care apare în anul 1958. Deşi nu produc noutăţi absolut fundamentale, reluînd sub multe aspecte ideile lui Bohr, contribuţiile lui Heisenberg la clarificarea şi dezvoltarea interpretării numite „ortodoxe" a mecanicii cuantice nu pot fi trecute cu vederea. Considerarea lor permite atît o mai bună înţelegere a substanţei filosofice a interpretării standard, cît şi a insatisfacţiilor de ordin filosofic faţă de această interpretare, insatisfacţii care se exprimă atît în felurite reacţii critice, cît şi în încercări mereu reînnoite de către cunoscuţi fizicieni teoreticieni sau filosofi ai ştiinţei de a elabora interpretări alternative.

În lucrările lui Heisenberg din anii '50 ne atrag cu deosebire atenţia încercările autorului de a clarifica problema, în esenţă filosofică, a semnificaţiei fizice a formalismului mecanicii cuantice. Teza lui Heisenberg este că legile matematice ale teoriei nu descriu o realitate fizică, în sensul clasic al termenului, ci posibilităţi, mai precis probabilitatea producerii anumitor evenimente fizice localizate în spaţiu şi timp. Deja în 1924, Bohr, Kramers şi Slater au interpretat aşa-numitele „unde materiale" nu ca unde reale, ci ca unde de probabilitate, a căror intensitate determină în fiecare punct posibilitatea absorbţiei sau emisiei unei cuante de lumină de către un atom. Undele nu descriu, deci, o realitate fizică, în sensul clasic al termenului, ci doar posibilitatea, mai precis probabilitatea unor evenimente reale. În felul acesta, observă Heisenberg, conceptul de probabilitate a fost introdus ca un nou gen de „realitate fizică". „Acest concept de probabilitate este strîns înrudit cu conceptul de posibilitate, cu *potentia* din filosofia antică a naturii, de exemplu, la Aristotel ; este oarecum transformarea noţiunii antice de posibilitate dintr-o noţiune calitativă într-o noţiune cantitativă." (W. Heisenberg /4/, pag. 412.)

Iată, pe scurt, în expunerea lui Heisenberg, principalele considerații care stau la baza reevaluării conceptului de realitate fizică în mecanica cuantică, pe care el o caracterizează drept „o ruptură reală în structura științei moderne“. (Vezi W. Heisenberg /5/, pag. 28.) Pentru a descrie, prin ecuațiile teoriei, evoluția în timp a unui sistem atomic, este necesară cunoașterea prealabilă a caracteristicilor de stare ale sistemului într-un moment determinat al timpului. Această cunoaștere se realizează printr-un act de măsurare, ale cărui rezultate nu pot fi exprimate, dată fiind natura interacțiunii dintre un sistem atomic și dispozitive macroscopice, decît printr-o funcție de probabilitate. Într-adevăr, determinarea caracteristicilor de stare ale sistemului atomic prin măsurare poate avea loc numai în limitele de precizie pe care le permit relațiile de nedeterminare. Căci stările reale ale obiectelor cuantice sînt rezultatul interacțiunii lor cu dispozitivele de măsurare. Instrumentele de măsurare sînt descrise de noțiunile fizicii clasice, ceea ce înseamnă că interacțiunile dintre elementele structurii lor microscopice și microobiecte nu pot fi descrise decît probabilistic. În acest sens, cunoașterea caracteristicilor de stare ale microobiectelor va fi, deci, prin natura ei, întotdeauna incompletă și descrierea lor statistică nu va putea fi în principiu evitată. Heisenberg accentuează că dacă probabilitatea intervine în descrierea sistemelor macroscopice în primul rînd datorită perturbațiilor legate de imposibilitatea de a le izola în mod deplin de ambianță și deci datorită imposibilității de a determina, cu o precizie cît de mare, caracteristicile lor de stare într-un moment determinat al timpului, în cazul sistemelor atomice cunoașterea realului va fi întotdeauna, prin natura ei, o cunoaștere incompletă. Date fiind trăsăturile specifice ale lumii atomice care se exprimă, în primul rînd, în dualitatea corpuscul-undă, conceptul de probabilitate intră în definiția teoretică a unei stări a sistemului și ni se prezintă ca un concept primar, ireductibil. Limitele posibilităților de a preciza caracteristicile de stare ale sistemelor sînt, în primul caz de ordin practic, iar în al doilea caz de ordin principial. Ecuația de undă sau ecuația lui Schrödinger „descrie“ sistemul atomic, de exemplu mișcarea unui electron, între măsurarea inițială și măsurarea următoare. Ea nu ne oferă o descriere fizică în sensul clasic, obişnuit al expresiei. Ecuaţia de undă nu ne informează despre desfăşurarea evenimentelor în spaţiu şi timp, ci despre o tendinţă de desfăşurare a acestor evenimente. De exemplu, ea nu permite să formulăm predicţii despre poziţia şi viteza de mişcare a electronului în diferite momente ale timpului, ci numai despre probabilitatea ca microobiectul să aibă anumite caracteristici de stare, în diferite momente ale timpului. Pentru a confrunta aceste predicţii cu informaţia despre caracteristicile reale ale microparticulei este necesar să realizăm o nouă măsurare. Măsurarea care marchează ceea ce se numeşte „reducerea pachetului de unde“ reprezintă tranziţia de la virtual (posibil) la real. Actul măsurării schimbă funcţia de probabilitate în mod discontinuu, selectînd din posibil realul, evenimentul care a avut loc. Rezultatul unei măsurări determină, prin urmare, schimbarea discontinuă a funcţiei de probabilitate. Discontinuitatea cuantică, aşa-numitele „salturi cuantice“, exprimă tocmai tranziţia de la potenţial la real, care se realizează prin actul măsurării. În descrierea cuantică, expresii ale limbii comune ca „se întîmplă“, „are loc“ pot fi aplicate deci numai pentru rezultatul unor observaţii determinate, şi nu pentru presupusele stări reale ale microobiectelor între observaţii. A spune, bunăoară, că electronul trebuie să ocupe anumite poziţii în spaţiu şi să aibă un anumit impuls în intervalul dintre două acte de măsurare este ceva firesc pentru gîndirea obişnuită, în particular pentru modul de gîndire al fizicianului clasic. „Dar în teoria cuantică, ea va fi o utilizare greşită a limbii... care nu poate fi justificată.“ (W. Heisenberg /5/, pag. 48.) Caracterul inadecvat al limbii comune pentru exprimarea noii situaţii ce se creează în mecanica cuantică apare cu multă claritate atunci cînd vorbim despre interacţiunea microobiectelor cu aparatele de măsură; asemenea exprimări sugerează că obiectele descrierii teoretice în mecanica cuantică ar fi *stări reale*, în înţelesul obişnuit al acestei exprimări. Or, pe temeiuri de principiu, datorită caracteristicilor obiectelor cercetării şi a naturii interacţiunii lor cu sistemele macroscopice, şi nu datorită unor limitări practice ale preciziei cunoştinţelor noastre cu privire la mărimile ce definesc starea acestor obiecte, descrierea teoretică se raportează, în fizica cuantică, la potenţialităţi (probabilităţi) şi nu la stări reale. Faptul că ecuaţiile teoriei exprimă doar tendinţe, şi nu ceea ce se întîmplă între o observaţie şi observaţia următoare, poate fi formulat spunînd, de exemplu, că „cea ce se întîmplă depinde de felul cum observăm (un eveniment) sau de faptul dacă îl observăm“ (W. Heisenberg /5/, pag. 50), şi unei asemenea formulări i se poate da o interpretare subiectivistă. În acest din urmă caz se trece însă cu vederea că expresiile „observator“ şi „observaţie“, care intervin adesea în expunerea concepţiilor şcolii de la Copenhaga, vizează aspectul fizic şi nu cel psihic al observaţiei. Afirmaţia că în descrierea cuantică nu putem face abstracţie de „rolul observatorului“ este înţeleasă greşit dacă se presupune că ea implică introducerea unor însuşiri subiective în descrierea naturii. „Observatorul“ înregistrează evenimente fizice pe baza interacţiunilor fizice şi nu are importanţă, din acest punct de vedere, dacă acest „observator“ este o fiinţă omenească sau un aparat. (Vezi W. Heisenberg /4/, pag. 22.) Tranziţia de la virtual la real are loc ori de cîte ori se produc interacţiuni fizice determinate ; această tranziţie nu depinde de înregistrarea rezultatului de către mintea observatorului. Teoria cuantică „nu conţine trăsături subiective veritabile, ea nu introduce spiritul fizicianului ca o parte a evenimentului atomic“. (Vezi W. Heisenberg /5/ pag. 55.)

Heisenberg a subliniat în mod repetat că natura ireductibil statistică a teoriei cuantice decurge pur şi simplu din împrejurarea că noţiunile fizicii clasice, pe care le utilizăm în descrierea tuturor evenimentelor şi stărilor reale, nu mai sînt potrivite pentru descrierea lumii atomului. Nu se poate pune problema, crede marele fizician german, de a descrie experimentele ce stau la baza fizicii cuantice prin alte noţiuni decît cele utilizate în fizica clasică. Reluînd un punct de vedere formulat de multe ori şi de către Bohr, Heisenberg scrie : „Situaţia noastră reală în ştiinţă este de aşa natură încît *trebuie* să utilizăm conceptele clasice pentru descrierea evenimentelor, problema teoriei cuantice fiind de a găsi interpretări teoretice ale experimentelor pe această bază. Nu are rost să discutăm ce s-ar putea face dacă am fi alte fiinţe decît sîntem.“ (W. Heisenberg /5/, pag. 56.)

Pe temeiul unor asemenea consideraţii analitice, Heisenberg formulează concluziile sale generale cu privire la limitele aplicării conceptului curent de *realitate fizică* în mecanica cuantică și la modul în care am putea caracteriza, din punct de vedere filosofic, obiectele descrierii teoretice în mecanica cuantică. Formulele matematice ale teoriei, afirmă el, nu descriu evenimente atomice ci probabilități ale producerii acestor evenimente. „Nu fenomenul însuși, ci posibilitatea lui — *'potentia'*, dacă dorim să folosim acest concept al filosofiei lui Aristotel — este supusă legilor stricte ale naturii." (W. Heisenberg /6/, pag. 22—23.) Conceptul de realitate obiectivă [1] este tot atît de central în fizica cuantică și în fizica clasică. Obiectele fizicii atomice nu pot fi însă descrise în mod adecvat prin conceptele clasice. Conceptele clasice aplicate acestor obiecte sînt în mod iremediabil inadecvate, tot așa cum este, bunăoară, conceptul de temperatură aplicat atomului. Heisenberg, ca și Bohr, pornește de la premisa că despre realitate putem vorbi numai în limbajul fizicii clasice, în timp ce teoria cuantică, în măsura în care se referă la microobiecte (microstructuri) și nu la experimentele ce stau la baza teoriei, nu descrie decît stări virtuale, posibile. Heisenberg utilizează termenii „real" și „realitate" exclusiv pentru obiectele fizice ce pot fi descrise cu ajutorul noțiunilor mecanicii clasice. Nu tot ce e „obiectiv" este calificat, în acest limbaj, ca fiind „real" [2]. Aceste particularități ale folosirii cuvintelor nu trebuie în nici un caz pierdute din vedere, dacă vrem să înțelegem, potrivit intenției autorului, exprimări la prima vedere descumpănitoare, ca aceasta : „În experiențele asupra evenimentelor atomice avem de a face cu lucruri și fapte, cu fenomene care sînt tot atît de reale ca orice fenomen din viața reală. Dar atomii sau particulele elementare nu sînt reali ; ei formează o lume de potențialități sau posibilități mai degrabă decît una de lucruri și fapte." (W. Heisenberg /5/, pag. 186.)

---

[1] În lucrările la care ne referim, Heisenberg utilizează, în general, expresiile *realitate obiectivă* și *realitate fizică* ca expresii sinonime.

[2] Heisenberg o spune uneori direct : „Rezultă de aici că un sistem izolat de lumea exterioară are caracterul potențialității, și nu al factualității, sau, cum s-a exprimat adesea Bohr, că el nu poate fi descris cu noțiunile clasice. Se poate spune că starea sistemului închis, descrisă printr-un vector Hilbert, este obiectivă, dar nu reală și că, în această privință, reprezentarea clasică a lucrurilor „obiectiv-reale" trebuie să fie aici părăsită." (W. Heisenberg /4/, pag. 425—426.)

Heisenberg formulează astfel într-un mod mai clar și mai explicit decît Bohr cîteva din motivele fundamentale ale interpretării standard, care au generat și alimentat insatisfacția față de această interpretare în rîndul acelor cercetători și filosofi ai științei care promovau în mod conștient o concepție realistă asupra sensului și țelurilor științei teoretice. Alături de principiul complementarității al lui Bohr, despre care Einstein și Schrödinger spuneau că nu l-au putut înțelege în ciuda eforturilor pe care le-au făcut, două din aceste motive au fost apreciate de obicei, de către gînditorii de orientare realistă, ca fiind absolut inacceptabile din punct de vedere filosofic și au stîrnit, în mod deosebit, reacția lor negativă față de interpretarea școlii de la Copenhaga. Primul motiv este ceea ce am putea numi „paradoxul descrierii realității fizice în mecanica cuantică" : o descriere a realului nu este posibilă decît în termenii categoriilor gîndirii comune, a conceptelor fizicii clasice, dar aceste categorii și concepte nu se potrivesc deloc lumii atomice[3] ; descrierea microcosmului utilizînd noțiunile fizicii clasice este deci nesatisfăcătoare, însă o altă descriere nu avem, și nici nu este în general posibilă. Al doilea motiv este concluzia că particulele elementare nu sînt „reale" în sensul obișnuit al cuvîntului și că, prin urmare, descrierea teoretică în fizica cuantică are ca obiect probabilități, și nu „fapte reale"[4]. Pentru mulți critici de orientare realistă, o asemenea concluzie echivalează, cum vom vedea, cu susținerea că o teorie fizică ar avea drept obiect nu realitatea fizică ci cunoștințele noastre asupra realității fizice.

Liniile mari, premisele și orientările de bază ale criticii realiste a interpretării standard apar cu multă claritate în lucrările de filosofie a fizicii ale lui K. R. Popper. Cunoscutul filosof englez de origine austriacă poate pretinde, în mod îndreptățit, titlul de cel mai vechi critic în viață al concepțiilor școlii de la Copenhaga. Contribuțiile lui la discutarea fundamentelor teoriei cuantelor se întind de-a lungul unei jumătăți de secol, din 1934 cînd îi consacră un capitol al cărții sale, devenită mai tîrziu celebră, *Logica cercetării*, pînă la apariția, în anul 1982, a celui de al treilea volum al *Postscriptumului* la *Logica cercetării*, intitulat *Mecanica cuantică și schisma în fizică*. În mod firesc, baza logico-metodologică și științifică a analizelor critice întreprinse de Popper a suferit unele schimbări, dar supozițiile ei filosofice au rămas, în esență, aceleași.

---

[3] „Noi dorim să vorbim, într-un fel oarecare, despre structura atomilor și nu numai despre 'fapte' — ultimele fiind, de exemplu, petele negre pe o placă fotografică sau picături de apă într-o cameră cu bule. Dar nu putem vorbi despre atomi în limbajul obișnuit." (W. Heisenberg /5/, pag. 178—179.)

[4] Heisenberg admitea, spre sfîrșitul vieții sale, că această concluzie a fost „profund revoluționară" și că nu trebuie să ne mirăm că mulți fizicieni de primă mărime nu au putut-o accepta. (Vezi W. Heisenberg /10/, pag. 270.)

Ca și mulți alți critici ai interpretării standard, Popper pornește de la o distincție netă între formalismul matematic al mecanicii cuantice și interpretarea ei fizică. Formalismul mecanicii cuantice, adică mecanica cuantică *stricto sensu*, crede el, suportă diferite interpretări fizice. Interpretarea standard nu decurge în mod logic, constrîngător, din formalismul și baza experimentală ale teoriei cuantice. Ea a luat naștere și a fost apoi apărată și dezvoltată sub influența filosofiei subiectiviste și pozitiviste a științei, filosofie care ar fi exercitat o înrîurire puternică și statornică asupra gîndirii fizice a grupului de la Copenhaga. Adoptarea acestei interpretări nu ar fi deci în nici un fel necesară. Se sugerează că acceptarea ei largă s-a datorat, dincolo de presiunea pe care a exercitat-o moda filosofică și prestigiul științific al lui Bohr, Pauli sau Heisenberg, atitudinii pragmatice a marii majorități a fizicienilor teoreticieni de la mijlocul secolului. Aceștia erau oameni puțin motivați din punct de vedere filosofic, care nu erau dispuși să-și consume timpul și forțele pentru elaborarea unei interpretări alternative, atîta timp cît teoria cuantelor se dovedea un instrument util în multe domenii ale cercetării fizice[5]. În plus, lipsa de succes a unor proiecte de cercetare rivale, ca teoria unitară a cîmpului a lui Einstein sau ipotezele care introduceau parametri ascunși, nu a contribuit la încurajarea unor asemenea preocupări. Este vorba însă, crede Popper, doar de o mentalitate ce poate fi schimbată. Pentru a favoriza o schimbare în mentalitatea specialiștilor trebuie să se probeze că prin elaborarea unei interpretări

---

[5] Mi se pare sugestiv în acest sens o remarcă a lui Popper: „Cred mai curînd că cei mai mulți fizicieni, inclusiv teoreticieni, nu și-au bătut capul prea mult, și au avut, pur și simplu, încredere în Bohr într-o chestiune în care nu se simțeau competenți." (K. R. Popper /7/, pag. 10.)

„obiective“ nu se pierde nimic, dar se poate în schimb cîștiga pe plan științific, satisfăcîndu-se în același timp, într-o măsură mult mai mare, nevoia noastră fundamentală de a înțelege. Ținta constantă a strădaniilor lui Popper a fost tocmai să contribuie la realizarea unei schimbări de mentalitate, să argumenteze cît mai convingător posibilitatea unei interpretări a mecanicii cuantice, convenabilă din punct de vedere științific, în cadrul căreia, „observatorul“ nu mai are nici un rol. (Titlul uneia din lucrările lui Popper, *Mecanica cuantică fără observator,* exprimă cel mai bine intenția care l-a condus în cercetările sale asupra fundamentelor mecanicii cuantice.)

Autorul *Logicii cercetării* a apreciat întotdeauna că elaborarea unei interpretări obiective a microfizicii este importantă atît din punct de vedere filosofic, pentru restabilirea concepției realiste, singura concepție sănătoasă asupra cunoașterii fizice și a cunoașterii umane în general, cît și pentru progresul teoriei fizice, cel puțin în măsura în care înlătură interdicții ce pot limita posibilitățile cercetării.

În prima etapă a campaniei sale împotriva interpretării standard, Popper a propus o interpretare obiectivă a mecanicii cuantice bazată pe o teorie obiectivă a probabilității, așa-numita interpretare „frecvențială“ sau „statistică“ dezvoltată de Venn și von Misses. Temeiurile intervenției probabilității în mecanica cuantică sînt apreciate ca fiind, în principiu, aceleași ca și în fizica clasică. Enunțurile probabilistice ale mecanicii cuantice sînt caracterizate drept enunțuri de probabilitate „formaliste“, enunțuri care atribuie o anumită probabilitate unui eveniment singular sau unui eveniment singular dintr-o clasă determinată de evenimente, enunțuri de același tip cu enunțurile despre probabilitatea unei anumite căderi a zarului într-o aruncare viitoare. Sugestia școlii de la Copenhaga că mecanica cuantică ar fi produs modificări în situația de cunoaștere din fizică, că temeiurile intervenției probabilităților în teoria cuantică trebuie căutate în aceste modificări, este respinsă ca neîntemeiată. Popper crede că este posibilă elaborarea unei „explicații simple“ a caracterului probabilistic al enunțurilor teoriei prin efectele de „dispersie statistică“ ce intervin în toate experiențele asupra atomilor, explicație care restabilește pe deplin

„obiectivitatea descrierii fizice în teoria cuantică". (Vezi K. R. Popper /1/, pag. 228—234.) Mecanica cuantică, la fel ca și alte teorii fizice, formulează, pur și simplu, ipoteze despre frecvențe ale evenimentelor fizice și deduce din ele predicții despre frecvențe ale acestor evenimente[6].

Într-o etapă ulterioară, după 1950, Popper va încerca o interpretare obiectivă a teoriei cuantice pe o bază logico-filosofică mai largă, și anume, pe baza interpretării probabilității ca tendință de realizare, așa-numita „propensity interpretation of the calculus of probability". Funcția de probabilitate în mecanica cuantică este interpretată acum ca o expresie a tendințelor de realizare ale diferitelor stări ale microparticulei, în funcție de caracteristicile angrenajului experimental. Electronul este o particulă iar unda exprimă distribuția probabilităților diferitelor stări (caracteristici de stare) ale electronului[7]. Orice schimbare în angrenajul experimental va duce la o altă distribuție a probabilităților. Pe această bază s-ar putea da o explicație simplă celebrului experiment al celor două fante. Popper nu pretinde că interpretarea sa „propensity" este o interpretare universal aplicabilă a calculului probabilităților, ci doar cea mai bună interpretare cunoscută pentru aplicarea acestui calcul la un anumit tip de experimente repetabile, în special în fizică. (Vezi K. R. Popper /7/, pag. 69.) Caracterizînd mecanica cuantică ca o teorie statistică, Popper reia într-o anumită formă interpretarea dată de Born, încă din 1926, ecuației de undă, ca măsură a posibilității localizării particulei într-o anumită regiune a spațiului. Tendințele de realizare au și ele realitate fizică[8].

---

[6] Respingînd ideea lui Bohr și Heisenberg că trebuie să renunțăm, în principiu, la descrierea spațio-temporală în fizica atomică, Popper notează: „De fapt, acest program nu a fost niciodată realizat. Utilizarea frecventă și inevitabilă, însă oarecum nelegitimă, a conceptelor spațio-temporale apare justificată în lumina analizei și a considerațiilor mele, din care reiese că relațiile statistice de împrăștiere sînt enunțuri despre împrăștierea unei poziții și a unui impuls, deci enunțuri despre traiectorii." (K. R. Popper /1/, pag. 232.)

[7] „Tendințele de realizare nu sînt proprietăți ale particulelor, nici ale fotonilor, nici ale electronilor... Ele sînt proprietăți ale angrenajului experimental repetabil." (K. R. Popper /5/, pag. 38.)

[8] „Trebuie să amintesc că potrivit interpretării propuse aici, tendințele de realizare și cîmpul de tendințe de realizare sînt tot atît de reale ca și forțele și cîmpurile de forță.

Ele exprimă proprietăţi fizice ale unui experiment determinat. Testarea tendinţelor de realizare, calculată teoretic, este posibilă prin modificarea dispozitivelor experimentale. Dependenţa probabilităţilor, ca tendinţă de realizare, de condiţiile experimentale reale, nu este specifică teoriei cuantice, ci are un caracter general. Este deci greşit să vorbim despre o dualitate particulă-undă. Popper susţine că teoria cuantelor este o teorie a particulelor, într-un sens care exclude dualitatea sau complementaritatea undă-particulă. „Pentru a fi mai explicit, cred că undele sînt reprezentări matematice ale *tendinţelor de realizare* sau ale proprietăţilor dispoziţionale ale situaţiei fizice, interpretabile ca tendinţe ale particulelor de a avea anumite stări." (K. R. Popper /7/, pag. 126.) Popper crede că interpretarea sa permite să se armonizeze recunoaşterea caracterului principial statistic al fizicii cuantice[9] cu exigenţa, subliniată de Einstein şi Schrödinger, ca legile teoriei să descrie realitatea fizică. Adaptarea ei permite eliminarea firească a tuturor elementelor de subiectivitate legate de rolul atribuit observatorului în interpretarea standard, fără să se creeze noi dificultăţi. Se dă astfel curs „cerinţei realităţii" care a inspirat programele îndrăzneţe, dar în cele din urmă lipsite de succes, ale lui Einstein, Bohm sau de Broglie şi se explică caracterul statistic al legilor teoriei, evitîndu-se atît referirile la intervenţia observatorului, cît şi la insuficienţa informaţiilor noastre despre starea iniţială.

Prestaţia lui Popper este, cum era de altfel de aşteptat din partea unui filosof profesionist, una strict filosofică. Interpretarea „subiectivistă" şi „antirealistă" a mecanicii cuantice, pe care el o atribuia şcolii de la Copenhaga, aşa-numitul dualism particulă-undă, ar decurge dintr-o interpretare subiectivă a probabilităţii. „Misterul cuantelor" poate fi dezlegat simplu, pe baza

---

Ele sint, ca şi forţele, proprietăţi dispoziţionale, şi, ca şi forţele şi cîmpurile de forţă, ele nu sînt proprietăţi atît ale particulelor, cît ale situaţiei fizice totale ; ele sînt, ca şi forţele, proprietăţi relaţionale." (K. R. Popper /7/, pag. 127.)

[9] Popper relevă, în acest context, acordul său cu critica făcută de Einstein şi Pauli ideii undei-pilot a lui Bohm şi de Broglie. Totodată. Popper sublinia că, din punctul de vedere al interpretării sale a probabilităţii, ca tendinţă de realizare, funcţia de undă descrie o dispoziţie reală. (Vezi K. R. Popper /6/, pag. 124.)

interpretării obiective a probabilităţilor ca tendinţe de realizare într-o situaţie fizică determinată. Consideraţiile cu privire la dualismul corpuscul-undă şi cu privire la necesitatea reconsiderării conceptului de realitate fizică şi a condiţiilor generale ale descrierii teoretice în mecanica cuantică sînt, după Popper, simple consecinţe ale unor erori filosofice, ale neînţelegerii sensului conceptului de probabilitate în fizică. Mecanica cuantică este o teorie fizică ca oricare alta, şi anume, o teorie fizică statistică [10]. Singurul lucru care se poate învăţa din interminabilele discuţii asupra specificului situaţiei de cunoaştere în mecanica cuantică, lasă să se înţeleagă Popper, este cît de mare poate fi preţul ce trebuie plătit pentru anumite confuzii de ordin filosofic. Supoziţia nemărturisită a unei asemenea evaluări a situaţiei pare să fie cea a existenţei unei distincţii nete între ştiinţa fizicii şi metateoria sau epistemologia fizicii. În prezentarea lui Popper, Bohr sau Heisenberg sînt mari creatori de ştiinţă care fac greşeli filosofice elementare [11]. Elogiul sincer pe care-l face Popper geniului lor ştiinţific relevă, deci, în logica abordării sale, doar o faţă a lucrurilor. Se lasă clar să se înţeleagă că o contribuţie analitică calificată la clarificarea conceptelor ar fi putut preveni sau înlătura confuzii, adesea costisitoare, cărora le pot cădea victime, cum arată exemplul mecanicii cuantice, cei mai mari oameni de ştiinţă !

De fapt, poziţia lui Popper este tipică pentru atitudinea unui cerc relativ larg de filosofi şi oameni de ştiinţă cu interese filosofice, ataşaţi organic realismului şi idealului clasic al obiectivităţii cunoaşterii ştiinţifice[12], cărora filosofia lui Bohr și Heisenberg le apare confuză sau suspectă. Ceea ce ar dori ei este o interpretare fizică cît mai simplă și mai firească a mecanicii cuantice, din punctul de vedere al obișnuințelor de gîndire curente, care, fără a sacrifica nimic din „conținutul pozitiv“ al teoriei, să permită, totodată, evitarea unor mari reevaluări în concepția noastră asupra naturii și științei, de felul celor propuse de școala de la Copenhaga. Simpla menționare a celor ce aparțin acestui cerc, ai cărui membri sînt uniți doar printr-o anumită reprezentare asupra unor condiții minime pe care ar trebui să le satisfacă o explicație fizică convenabilă, printr-o stare de spirit, și nu printr-un program determinat, ar putea da o listă destul de lungă. Mă voi mărgini să invoc, pe scurt, cîteva tentative, altminteri foarte diferite, schițate de cunoscuți fizicieni teoreticieni, care ilustrează o stare de spirit și o atitudine în sensul celor de mai sus. Ceea ce mi se pare aici cu deosebire demn de atenție și relevant pentru situația în care se poate găsi adesea omul de știință exactă este că acești teoreticieni sînt împinși, în ultimă instanță, să caute o interpretare mai „pozitivă“, mai puțin împovărată de analize conceptuale și complicații filosofice, tocmai de o insatisfacție de ordin filosofic, de insatisfacția pe care le-o produce interpretarea standard a mecanicii cuantice.

---

[10] „Pledînd pentru realism, eu doresc, în principal, să subliniez că nimic nu s-a schimbat de la Galilei, Newton sau Faraday, cu privire la statutul sau rolul 'observatorului', sau al 'conştiinţei' sau al 'informaţiei' în fizică." (K. R. Popper /5/, pag. 14.)

[11] El afirmă, fără ocol, că introducerea nejustificată a conştiinţei în teoria probabilistică a mecanicii cuantice i se pare a fi întemeiată „pe o filosofie proastă şi pe greşeli foarte simple. Acestea, sper, vor fi uitate curînd fiindcă marii fizicieni, care s-au întîmplat să le săvîrşească, vor fi amintiţi întotdeauna pentru contribuţiile lor minunate în fizică : contribuţii cu o semnificaţie şi adîncime la care nu poate aspira nici un filosof." (K. R. Popper /5/, pag. 42.)

Voi aminti mai întîi teoria ansamblurilor cuantice a fizicianului sovietic D. I. Blohințev, mult discutată la un moment dat în literatura filosofică. Blohințev respinge interpretarea standard din rațiuni filosofice generale, calificînd-o ca o concepție de inspirație pozitivistă, care implică negarea cauzalității în microcosm și o interpretare subiectivistă a funcției de undă, precum și a noțiunii de stare în mecanica cuantică. (Vezi D. I. Blohințev /1/, pag. 497—498.) Propria lui interpretare alternativă pleacă de la premisa simplă că obiectul mecanicii cuantice îl constituie ansamblurile cuantice, ce există independent de observator. Descrierea cuantică se aplică în egală măsură experiențelor de laborator ca și unor fenomene care au loc în natură, în mod spontan, de fiecare dată cînd fenomenele macroscopice se declanșează sub influența fenomenelor la scară microscopică. Spre deosebire de mecanica statistică, mecanica cuantică nu este o teorie statistică a proceselor individuale. Obiectul ei îl constituie nu mişcarea microparticulelor, ci ansamblul constituit din microparticule şi dispozitive macroscopice. Numai acest ansamblu, luat ca întreg, poate fi izolat și poate constitui obiectul unei teorii fizice[13]. „De aceea, cînd în mecanica cuantică se vorbeşte de reproducerea unui microfenomen, de exemplu, de repetarea uneia şi aceleiaşi experienţe, se are în vedere reproducerea condiţiilor *macroscopice* pentru fenomenul *microfizic*, adică realizarea aceluiași ansamblu statistic." (D. I. Blohinţev /1/, pag. 12.) Caracterul statistic al legilor mecanicii cuantice are, prin urmare, o determinare obiectivă și nu exprimă, cum credea de exemplu Einstein, limitele cunoştinţelor noastre asupra caracteristicilor de stare ale sistemelor individuale. Interpretarea şcolii de la Copenhaga a subliniat în mod îndreptăţit caracterul statistic ireductibil al legilor teoriei cuantice, dar i-a dat o interpretare subiectivistă. Blohinţev crede că propria lui interpretare alternativă indică clar că teoria nu impune o reconsiderare a conceptului de realitate fizică, a criteriilor şi condiţiilor generale ale descrierii teoretice în fizică. În prefața ediției a V-a a tratatului său de mecanică cuantică, care apare în 1976, Blohinţev afirmă că discuțiile din anii '30 și '40 asupra fundamentelor mecanicii cuantice nu ar mai prezenta astăzi decît un interes istoric ! (Vezi D. I. Blohințev /2/, pag. 5.)

---

[12] Popper afirmă explicit că nu vede nici un motiv pentru a se abate „de la punctul de vedere clasic, naiv și realist, că electronii și alte entități asemănătoare sînt particule, adică *sînt localizate și posedă moment*“. (K. R. Popper /6/, pag. 75.)

Consideraţii şi intenţii în anumite privinţe asemănătoare par să-l fi inspirat pe fizicianul german G. Ludwig în elaborarea interpretării sale, care, ca și interpretarea lui Blohințev, lasă neatins conținutul propriu-zis al teoriei. Ludwig remarcă că nu există deosebiri între specialiştii în teoria cuantelor cu privire la modul cum trebuie calculată probabilitatea diferitelor rezultate experimentale și cum trebuie comparate aceste predicţii cu rezultatele experimentale, dar că există mari divergenţe în ceea ce privește semnificaţia ce se acordă unor expresii ale teoriei cum ar fi funcţia de stare Ψ. (Vezi G. Ludwig /1/, pag. 428.) El își propune să elaboreze o interpretare obiectivă a teoriei, pe care o consideră acceptabilă pentru toţi specialiștii, cu condiţia ca ei să fie de acord în prealabil cu unele decizii. Una din acestea este adoptarea unei reprezentări determinate despre obiectul fizicii cuantelor, și anume a punctului de vedere că orice enunţ al teoriei se referă la un efect macroscopic, care poate fi descris prin conceptele mecanicii clasice. Ludwig formulează acest punct de vedere astfel : „Mecanica cuantică se ocupă de efecte macroscopice, prin urmare de efecte obiectivabile care sînt provocate de obiecte microscopice. Ea formulează numai enunţuri despre producerea unor asemenea efecte şi nu enunţuri despre un obiect microscopic în sine, dacă înţelegem prin aceasta un obiect care este izolat de restul lumii. O mărime observabilă constă, în esenţă, în asemenea efecte produse de microcosm în macrocosm.“ (G. Ludwig /1/, pag. 429.) O stare cuantică este caracterizată drept o stare proprie unui număr foarte mare de obiecte microscopice, unei colecţii statistice. Probabilităţile în mecanica cuantică descriu colecţii de obiecte microscopice care produc anumite efecte macroscopice. În acest sens, mecanica cuantică este o teorie principial statistică. Concluzia autorului este că mecanica cuantică „examinează în mod termodinamic procese ireversibile proprii unor obiecte macroscopice, considerînd drept cauze ale acestora obiecte microscopice. Ea descrie corelaţiile în producerea unor asemenea efecte, adică relaţiile de frecvenţă între asemenea efecte.“ (G. Ludwig /1/, pag. 432.) Pornind de la asemenea supoziţii, putem explica caracterul principial statistic al legilor mecanicii cuantice, renunţînd la orice fel de consideraţii speciale cu privire la rolul actului observaţiei și măsurării. Ludwig acordă o atenţie deosebită acestui aspect, respingînd cu hotărîre interpretarea subiectivistă a actului observaţiei sau al măsurării în fizica cuantică. Împotriva tendinţei de a considera enunţurile care constituie baza experimentală a teoriei drept enunțuri despre cunoștințele observatorului, el pornește de la punctul de vedere că numai fapte obiective pot fi comparate cu teoria. Acest punct de vedere este pentru fizicianul german o exigență normativă a construcției teoretice în fizică. El o caracterizează ca una din acele decizii prealabile (Vorentscheidungen) de la care se pleacă întotdeauna în construcția sau reconstrucția unei teorii fizice. Motivația filosofică a muncii sale teoretice apare astfel cu toată claritatea. Pornind de la postulatul obiectivității datelor de observație ce stau la baza unei teorii fizice, Ludwig își propune să demonstreze, printr-o laborioasă reconstrucție axiomatică a mecanicii cuantice, posibilitatea de a formula procesul de măsurare în termeni pur fizici, fără a face apel la cunoștințele observatorului sau la o nouă logică. Concluzia lui este că în mecanica cuantică poate să fie menținut conceptul clasic al obiectivității datelor de observație[14]. „Procesul de măsurare poate fi descris ca o interacțiune între sisteme fizice, în întregime în interiorul fizicii. Conștiința nu *intră* în teorie. Fizica este întemeiată numai pe identificarea evenimentelor obiective.“ (G. Ludwig /2/, pag. 288.) Din această perspectivă, faptele experimentale care arată că aceeași colecție de obiecte microscopice produc, în contact cu diferite dispozitive experimentale, efecte diferite, primesc o explicație simplă și firească. Preocupările epistemologice care inspiră interpretarea aparent neutră din punct de vedere filosofic a lui Ludwig transpar astfel cu multă claritate.

---

[13] „Este esenţial să remarcăm că în domeniul fenomenelor cuantice noi nu putem reîncepe o experiență asupra aceleiaşi particule, căci faptul însuşi al măsurării este în general susceptibil să modifice starea particulelor. Prin urmare, pentru a putea reproduce un mare număr de experimente identice, trebuie să avem de a face cu un mare număr de particule (sau de sisteme), care, deși sînt independente unele de altele, se află în condiţii *macroscopice* identice. O asemenea colecţie de particule (sau sisteme) este desemnată sub numele de *ansamblu cuantic de particule* (sau, mai simplu, *ansamblu*)." (D. I. Blohinţev /2/, pag. 58.)

Dacă Ludwig respinge din capul locului interpretarea subiectivistă a actului măsurării în microfizică, fără a se angaja în polemici filosofice, în schimb fizicianul american de origine germană Alfred Landé, care s-a făcut cunoscut, între altele, prin contribuțiile sale importante în mecanica cuantică încă în prima etapă de dezvoltare a teoriei, desfășoară larg temeiurile reticenței sau chiar ale aversiunii sale față de „filosofia“ standard a mecanicii cuantice[15]. El crede că interpretarea realistă pe care o propune ar elibera mecanica cuantică de „ornamente filosofice“ inutile. (Vezi A. Landé /1/, pag. 74.)

---

[14] Că observatorul, ca ființă conștientă, nu are un alt rol în fizica cuantică decît în cea clasică, se poate arăta prin considerații simple. Indicațiile aparatelor de măsurare pot fi înregistrate de un computer. Faptul că experimentatorul a observat sau nu ceva este, în acest caz, irelevant. (Vezi G. Ludwig /2/, pag. 294 și G. Ludwig /3/, pag. 703.)

Respingînd „dualismul“ interpretării standard (dualitatea undă-corpuscul), pe care îl califică ca un punct de vedere „neinteligibil“, Landé dezvoltă o interpretare „unitară“, bazată pe conceptul clasic al particulei materiale. El caracterizează propria sa concepţie drept o dezvoltare consecventă a încercării de interpretare unitară a mecanicii cuantice, formulată pentru prima dată de Born în 1926. În această interpretare, undele erau caracterizate ca unde de probabilitate, care indică probabilitatea localizării particulei într-o anumită regiune a spaţiului. Landé formulează ipoteza istorică că interpretarea lui Born conţinea de fapt o concepţie incompatibilă cu punctul de vedere „dualist“ al interpretării standard (chiar dacă admite că în lucrări filosofice ulterioare Born a făcut concesii acestei interpretări, în măsura în care a lăsat să se înţeleagă că atributul de *real* ar putea fi acordat şi undelor) şi susţine că încercarea de a concilia, de a menţine în relaţii de coexistenţă paşnică aceste două „ideologii absolut incompatibile“ a condus la „inconsistenţe şi pseudoprobleme care au provocat discuţii nesfîrşite“. (Vezi A. Landé /1/, pag. XIV.) Sîmburele interpretării propuse de Landé este că particulele sînt lucruri concrete, reale, în timp ce undele sînt abstracţii, descrieri matematice ale caracteristicilor statistice ale particulelor. Undele materiale ale lui de Broglie şi Schrödinger au avut în deceniul al treilea o valoare euristică, contribuind la elaborarea formalismului matematic al teoriei. De fapt, undele Ψ nu ghidează evenimente reale (aluzie la ipoteza lui de Broglie) mai mult decît tabelele de mortalitate decesele reale. Raţiunea pentru a acorda realitate numai particulelor, și nu și undelor de probabilitate, în mecanica cuantică, este aceeași cu cea pentru care considerăm oamenii bolnavi drept „reali“, în timp ce curba ce indică probabilitatea pentru o anumită persoană, dintr-o anumită populație, de a fi bolnavă, să zicem în cazul unei epidemii, nu este un lucru real. (Vezi A. Landé /1/, pag. 79.) Pentru Landé, care ia drept neproblematic conceptul clasic al realității fizice, filosofia principiului complementarității — electronul nu este nici o particulă nici o undă, ci se manifestă în anumite condiții ca o particulă și în altele ca o undă — este obscură, de neînțeles. El nu are nici o înțelegere pentru sugestia lui Bohr și Heisenberg că odată cu pătrunderea cunoașterii noastre în lumea atomului, criteriile noastre de inteligibilitate ar trebui să fie modificate. Acest mare fizician, care a avut contacte strînse cu Bohr, Pauli și Heisenberg, tratează cu o lipsă totală de deferență principiul complementarității[16], apreciind că formularea lui ar reprezenta pur și simplu o ilustrare a maximei : „Dacă nu poți explica ceva, declară că acest lucru este un principiu.“ Interpretarea standard nu a fost stimulatoare pentru dezvoltarea gîndirii fizice, transmițînd celor ce lucrau în acest domeniu un sentiment liniștitor, care tocește curiozitatea, sentiment pe care îl evocă foarte bine aforismul : „Trebuie să înțelegem că nu mai este nimic de înțeles.“ Landé crede că gîndirea teoretică nu are decît de cîștigat prin renunțarea la „profunzimi filosofice“, cum este principiul complementarității, și prin revenirea la punctul de vedere al realismului tradițional. Nu ar exista motive temeinice pentru ca teoreticianul să pună în discuție criteriile clare și familiare ale distincției dintre ceea ce este real și ceea ce nu este real. Landé caracterizează drept *real* ceea ce este *kickable*. Acest cuvînt, greu de tradus în mod convenabil, desemnează capacitatea unei entități de a influența prin interacțiune starea și proprietățile lucrurilor reale și de a suferi influența acestora[17].

---

[15] De la un punct cel puţin, evoluţia lui Landé seamănă mult cu cea a lui de Broglie. Prin formaţie şi structură, amîndoi au avut o înclinaţie pronunţată spre o viziune clasică, înclinaţie pe care şi-au ţinut-o totuşi sub control în anii '30—'40, ani de dominaţie în general necontestată a interpretării standard. În publicaţiile lor din această perioadă, ei au expus punctul de vedere larg acceptat. După 1950 amîndoi au dezvoltat o critică acerbă a filosofiei şcolii de la Copenhaga prin raportare la criterii de inteligibilitate cărora le confereau o valoare imperativă şi absolută.

---

[16] Landé compară dualitatea corpuscul-undă, în calitate de principiu explicativ suprem în fizica atomică, cu explicațiile prin „oroarea de vid“ a naturii sau prin „principii vitale“. (Vezi A. Landé /2/, pag. 298.)

[17] „Also, using the good Doctor Johnson's language : You can kick a stone, and you can kick an electron, and even a water wave and an electromagnetic field, and be hurt by them, proving their reality.“ (A. Landé /1/, pag. 73—74.)

Landé îi tratează cu ironie superioară pe susţinătorii interpretării standard, scriind, „că nici un fizician, în sinea lui, nu consideră un electron ca fiind altceva decît o particulă discretă". (A. Landé /1/, pag. XI.) Detașarea lor de realismul comun ar fi iluzorie. O asemenea detașare este de fapt imposibilă[18]. Fizicianul teoretician care a acceptat interpretarea standard lucrează pe baza concepţiei corpusculare unitare, propusă pentru prima dată de Born, în zilele de lucru, şi apelează la doctrina dualistă doar duminica! (Vezi A. Landé /1/, pag. 75.)

Ca și Popper, pe care îl apreciază drept primul care a evidenţiat lipsa de necesitate a „filosofiei cuantice sofisticate" a lui Bohr și Heisenberg, într-o epocă cînd el însuși se lăsase amăgit de această filosofie, Landé contestă că fizica cuantică ar fi creat o situaţie de cunoaștere nouă, principial deosebită de cea cunoscută în fizica clasică. Adoptînd teoria obiectivă a probabilităţii, și manifestîndu-şi simpatia pentru înţelegerea ei ca „tendinţă de realizare", propusă de Popper, Landé pretinde că nu există nici o deosebire între intervenţia probabilităţii în mecanica statistică clasică sau în teoria jocurilor obișnuite de noroc şi, respectiv, în fizica cuantică. Şi în unele cazuri şi în celelalte, probabilitatea intervine în mod ireductibil dată fiind existenţa obiectivă a întîmplării. Reţinerea de a renunţa la un principiu familiar cum este cel al determinismului clasic — legile deterministe stricte sînt universale iar legile statistice sînt simple consecinţe ale faptului că nu avem cunoştinţe complete asupra „condiţiilor iniţiale" — poate fi atenuată dacă înţelegem că un alt principiu, şi mai familiar, *principiul continuităţii*, ne obligă să acceptăm ireductibilitatea legilor statistice la legile deterministe stricte[19]. Diferenţa dintre distribuţia probabilităţilor în jocurile obişnuite de noroc şi în experimentele ce constituie baza teoriei cuantelor, socoate Landé, este tehnică, şi nu esenţială. Tot aşa, evidenţierea existenţei unor proprietăţi incompatibile ale sistemelor fizice nu este o noutate absolută adusă de teoria cuantică. Localizarea unei particule şi momentul (impulsul) ei sînt incompatibile în acelaşi fel în care sînt, bunăoară, flexibilitatea şi combustia. „Inovaţiile mecanicii cuantice, conchide Landé, sînt pur fizice ; ele nu cer o nouă epistemologie şi filosofie a cunoaşterii, nici un nou limbaj.“ (A. Landé /1/, pag. 86.)

---

[18] „În sinea lor, toţi fizicienii sînt realişti în sensul lui Einstein, după care pot exista *fie* particule discrete, *fie* unde continue de substanţă şi nu 'mazăre întreagă şi cremă de mazăre în acelaşi timp'. chiar dacă cele două imagini ar fi complementare." (A. Landé /1/, pag. 97.)

[19] Potrivit principiului continuităţii, între cazurile pozitive şi negative ale unui test experimental — de exemplu, trecerea unei particule printr-o fantă şi respingerea ei — există cazuri intermediare, care sînt evenimente controlate de legi statistice:

Poziţia lui Landé în problematica fundamentelor teoriei cuantelor merită, cred, o atenţie specială fiindcă este o foarte bună ilustrare a unei situaţii care survine frecvent în discuţiile asupra interpretării unor teorii fizice fundamentale : cercetătorul care îşi caracterizează propria sa interpretare ca „fizică“ „pozitivă“, lăsînd să se înţeleagă că nu sînt de dorit interpretări care introduc distincţii filosofice subtile, se lasă, de fapt, condus de idealuri a căror substanţă filosofică este greu de tăgăduit. Landé, bunăoară, deplînge insistent faptul că interpretarea ortodoxă ar oferi „pietre ale argumentării filosofice în loc de pîinea explicaţiei fizice“ (A. Landé /1/, pag. XI) şi promite răspunsuri la întrebările cu care se confruntă această interpretare pe temeiuri strict fizice. Să examinăm însă puţin aceste „temeiuri“ şi natura lor. Exprimîndu-şi dezacordul cu abordarea standard, care pleacă de la formalismul matematic al teoriei şi caută o interpretare fizică a acestui formalism, Landé propune „un nou punct de plecare“, şi anume, construirea teoriei pornind de la principii şi axiome foarte simple. Pe această cale, crede el, a fost construită termodinamica, ale cărei enunţuri pot fi derivate din două principii fizice, sau teoria relativităţii. Programul lui Landé constă în reformularea teoriei cuantice ca o teorie corpusculară, în care ceea ce el numeşte „aparenţele ondulatorii“ să apară drept consecinţe fireşti ale unor „postulate necuantice elementare“. (Vezi A. Landé /1/, pag. 96.) Criteriul adoptării acestor postulate şi garanţia lor ultimă ar consta în evidenţa lor raţională. Autorul scrie textual că are în vedere

---

particula trece uneori şi este respinsă alteori, aşa-numitul *splitting effect*. Principiul continuităţii, înţeles astfel, este contrazis de determinismul clasic, dar experienţa decide în favoarea continuităţii.

principii de simetrie şi invarianţă ce sînt „atît de evidente încît trebuie doar să le înţelegem pentru a fi de acord cu ele“. (Vezi A. Landé /1/, pag. XV.) Este neîndoielnic că autorul are în vedere criterii de evidenţă ale unei minţi de factură clasică. Sensul poziţiei lui Landé este astfel cum nu se poate mai clar. El respinge interpretarea standard şi propune o nouă interpretare pe temeiuri „fizice“, nu pentru că prima interpretare este „filosofică“, ci fiindcă apreciază filosofia care stă la baza acestei interpretări drept inacceptabilă. Proiectul lui Landé urmăreşte reformularea mecanicii cuantice pe baza unor „fundamente necuantice“, adică potrivit unor idealuri clasice de inteligibilitate. Acest proiect, care derivă dintr-o insatisfacţie filosofică, are doar o semnificaţie metateoretică, şi nu una strict fizică. Ca şi Popper, Landé disociază strict opera fizică a creatorilor teoriei cuantice (Bohr, Heisenberg, Pauli, Dirac) de interpretarea pe care au dat-o teoriei, admirînd-o fără rezerve pe prima şi respingînd-o pe cea de a doua ca pe un adaos exterior, care nu are nici o legătură cu conţinutul fizic al teoriei. Recunoscînd că mecanica cuantică este ireproşabilă ca instrument al cunoaşterii fizice, Landé propune doar o nouă interpretare, care ar lăsa neatinse anumite idei şi reprezentări filosofice clasice. Aceste idei i se par atît de importante încît restaurarea lor merită să fie plătită chiar cu preţul marelui efort tehnic pe care îl solicită reconstrucţia axiomatică pe care o urmăreşte. În ciuda străduinţelor sale, Landé nu a putut produce vreun argument convingător cu privire la valoarea euristică a interpretării sale unitare. Interesele fundamentale care l-au condus pe acest fizician, cu realizări ştiinţifice ce i-au asigurat o solidă reputaţie în rîndurile specialiştilor, în critica interpretării şcolii de la Copenhaga şi în elaborarea unei reconstrucţii axiomatice a mecanicii cuantice, nu au fost, deci, în primul rînd, fizice, ci general filosofice. El însuşi le-a caracterizat în mod sugestiv ca o reîntoarcere „de la pozitivismul dialectic al imaginilor opuse la materialismul ontologic deplin care, de la Galilei la Einstein, a fost fundalul ideologic al ştiinţei naturii“. (A Landé /1/, pag. 104.)

Abordările, sub multe aspecte diferite, ale problematicii filosofice a mecanicii cuantice, pe care le-am discutat, au unele trăsături generale ce le apropie. Pe de o parte, toate au luat naștere pe terenul unei stări de insatisfacție filosofică față de abordarea standard, izvorîtă din convingerea, afirmată mai mult sau mai puțin explicit, că premisele acestei abordări sînt incompatibile cu concepția realistă asupra cunoașterii în cadrul căreia s-a dezvoltat cu succes, de-a lungul secolelor, știința exactă a naturii. Pe de altă parte, aceste abordări propun reinterpretări obiective sau realiste ale teoriei cuantelor, bazate pe supoziții fizice „simple", care, în convingerea autorilor lor, ar face de prisos o filosofie specială a mecanicii cuantice, cum este cea elaborată de Bohr și Heisenberg. Îndeosebi Popper și Landé se străduiesc să argumenteze că teoria cuantică este o teorie statistică, ca oricare alta, că această teorie nu a creat o situație nouă de cunoaștere, că fenomene care primesc o interpretare complicată, obscură și dubioasă din punct de vedere filosofic, prin concepte ca acelea al complementarității și al dualității corpuscul-undă, pot fi explicate simplu drept consecințe ale caracterului probabilistic și statistic ale teoriei. Popper subliniază această caracteristică a interpretării sale realiste sau obiective, numind-o și de „simț comun" *(commonsense interpretation)*. Microparticulele, susține el, au tot timpul o poziție și o cantitate determinată de mișcare, dar teoria nu le poate prevedea în mod precis pur și simplu fiindcă este o teorie probabilistică care ne informează doar asupra tendinței lor de a avea o anumită localizare cînd este dat impulsul, și de a avea un anumit impuls cînd poziția lor este determinată. Relația este de același tip cu cea dintre culoarea ochilor și a părului. Fiind cunoscută culoarea ochilor, putem face, cu o anumită probabilitate, predicții despre culoarea părului și invers. „Întregul mister al cuantelor, observă ironic Popper, nu este mai misterios decît acest fapt." (K. R. Popper /7/, pag. 147.)[20] Landé, care este din punct de vedere filosofic în deplin acord cu Popper, subliniază de asemenea că dualitatea particulă-undă nu este o trăsătură ireductibilă a microcosmului și nu are deci o semnificație fizică și filosofică fundamentale. Această celebră și mult discutată dualitate nu ar fi de fapt decît o aparență superficială, care ar putea fi eliminată prin derivarea faptelor pe care își propune să le explice din cîteva principii fizice de conservare și simetrie, adoptate în mod axiomatic, din ceea ce Landé numește o „bază unificată“. (Vezi A. Landé /1/, pag. 100.)

---

[20] Chiar și celebrul principiu al complementarității, socoate Popper, în măsura în care exprimă ceva, poate fi redus la cîteva considerații simple : „Mi-e frică că în spatele acestui principiu nu este mai mult decît atît : că diferite dispozitive experimentale sînt întotdeauna diferite ; și că două dispozitive experimentale oarecare, cît de asemănătoare, se exclud întotdeauna reciproc în sensul că nu pot fi niciodată combinate. Căci orice încercare de combinație va crea un nou dispozitiv experimental. În ce fel sînt influențate tendințele de realizare printr-o asemenea schimbare, este o chestiune în care urmează să decidă teoria." (K. R. Popper /7/, pag. 155.)

Alți autori, atît fizicieni activi cît și specialiști în filosofia fizicii, care se interesează în ultimele decenii de fundamentele fizicii cuantice, își manifestă insatisfacția deopotrivă față de toate alternativele interpretative propuse și apreciază că problemele principiale pe care le-a ridicat dezvoltarea fizicii atomice, încă în deceniul al treilea, nu ar fi primit pînă acum o soluție cît de cît satisfăcătoare. Ilustrativă pentru asemenea situare și concluzie este analiza pe care a dezvoltat-o, îndeosebi în lucrări publicate în deceniul al șaptelea, americanul H. Putnam, unul din cei mai reputați filosofi contemporani ai științei.

Considerînd că problema interpretării mecanicii cuantice este determinarea semnificației funcției de undă Ψ sau, cu un termen mai familiar, a setului de unde prin care poate fi reprezentată starea unui sistem fizic, Putnam examinează din punct de vedere logico-filosofic cele mai cunoscute interpretări ale mecanicii cuantice, ca răspunsuri la această problemă. El ajunge la concluzia că nici una dintre ele nu poate fi apreciată drept satisfăcătoare. Interpretarea lui de Broglie nu poate explica reducerea „pachetului de unde“, adică schimbarea discontinuă a caracteristicilor de stare ale sistemului, care se produce în momentul măsurării. Interpretarea inițială a lui Born din 1926[21], pe care încearcă s-o întemeieze și s-o dezvolte mai tîrziu Popper și Landé, neagă realitatea fizică a undelor și nu poate da deci socoteală de fenomenele de interferență. Teoriile cu parametri ascunși introduc forțe fizice cu proprietăți neobișnuite pentru a explica caracterul statistic al legilor teoriei. În lipsa unor predicții încununate de succes despre fenomene noi, ipotezele despre existența unor asemenea forțe rămîn ipoteze *ad hoc*. Aceste teorii prezintă pe deasupra și mari dificultăți de ordin matematic. Aceste dificultăți, împreună cu caracterul oarecum artificial al supozițiilor de bază, explică reticența față de ele a majorității fizicienilor teoreticieni a căror angajare filosofică nu este prea pronunțată. Interpretarea standard face față dificultăților de care s-au izbit celelalte interpretări. Ea este însă împovărată de grave dificultăți de ordin logico-filosofic. Prima dintre ele, care a fost adesea remarcată, este că microobiectelor li se atribuie realitate fizică, cu alte cuvinte, caracteristici de stare ca poziție și moment, numai în momentul măsurării, ceea ce este cu totul neintuitiv, în contradicție cu standardele curente de inteligibilitate în fizică. Probabil că Putnam nu ar considera însă această obiecție, singură, ca fiind hotărîtoare. Spre deosebire de gînditori ca Einstein, Schrödinger, de Broglie, Bohm, Popper sau Landé, el ar putea accepta sugestia lui Bohr și Heisenberg că noua situație de cunoaștere care s-ar fi creat în fizica atomică ne constrînge să modificăm unele din standardele noastre adînc înrădăcinate de inteligibilitate științifică. Putnam putea accepta o asemenea sugestie cu atît mai mult cu cît, spre deosebire de majoritatea criticilor interpretării standard, el nu consideră că școala de la Copenhaga susține o concepție subiectivistă asupra cunoașterii fizice[22]. În fapt, întreaga filosofie a fizicii a lui Putnam pornește de la un punct de vedere clar exprimat asupra obiectivității realității fizice și a cunoașterii fizice, în particular de la supoziția că măsurătorile sînt doar o subclasă a clasei mai largi a interacțiunilor fizice și, deci, că măsurarea nu poate interveni ca un termen primitiv, nedefinit, în axiomatica unei teorii fizice, așa cum se întîmplă în reconstrucţia lui von Neumann. (Vezi H. Putnam /2/, pag. 147.) Putnam respinge cu hotărîre interpretările subiectiviste ale măsurării, cum este cea formulată în lucrarea lui F. London şi E. Bauer (*La théorie de l'observation en mécanique quantique*, 1939) sau cea propusă, mai recent, într-o lucrare a lui H. Margenau şi E. Wigner[23]. El crede însă că poate indica şi o insuficienţă fundamentală a interpretării standard, care priveşte structura ei conceptuală internă. La baza interpretării lui Bohr şi Heisenberg stă presupunerea că macroobiectele au tot timpul valori precise, în timp ce microobiectele au asemenea valori (cu alte cuvinte, sînt realităţi fizice *stricto sensu*) numai cînd sînt măsurate. Se poate arăta însă că în unele cazuri nici macroobiectele nu au valori precise, independent de actul măsurării. Să considerăm un experiment sugerat pentru prima dată de către Schrödinger (vezi E. Schrödinger /2/, pag. 812) şi să presupunem, de exemplu, că un electron are o probabilitate de cincizeci la sută de a fi reflectat de o oglindă argintată sau de a trece prin oglindă şi de a declanşa un mecanism care va electrocuta o pisică închisă într-o „cutie neagră". Am putea spune, în acest caz, că înainte şi independent de orice observaţie asupra a ceea ce se petrece în interiorul cutiei, pisica nu este nici vie nici moartă şi că abia actul observaţiei o aduce într-o stare definită. (Pentru a scăpa de această consecință putem contesta aplicarea principiului superpoziției stărilor pentru stările macroscopice. O asemenea decizie ar avea însă, arată Putnam, consecințe grave asupra consistenței interne a teoriei.) Concluzia la care duce examinarea logică a acestui experiment mintal se impune de fapt pentru toate experimentele cuantice unde anumite evenimente microscopice sînt amplificate pentru a putea fi detectate macroscopic. Ea este însă în contradicție cu o idee centrală a interpretării standard, cu supoziția lui Bohr și Heisenberg că obiectele macroscopice au întotdeauna valori precise, independent de actul măsurării. Or, constatăm că această supoziție nu poate fi dedusă în mod natural din fundamentele teoriei cuantice, ci trebuie să-i fie adăugată ca o presupunere adițională, *ad hoc.* (Vezi H. Putnam /2/, pag. 157.) O asemenea critică nu va face probabil o mare impresie asupra multor fizicieni activi, care nu acordă de obicei o atenție deosebită dificultăților pe care le întîmpină axiomatizarea unei teorii pe care o pot folosi cu succes. Pentru Putnam, care examinează bazele mecanicii cuantice din punct de vedere logico-filosofic, dificultatea este însă gravă [24] și îndreptățește încheierea că nu există o interpretare satisfăcătoare a mecanicii cuantice. Ce trebuie făcut pentru a depăși această situație? La această întrebare Putnam nu oferă decît un răspuns foarte general: „Curiozitatea omenească nu își va găsi liniștea pînă ce aceste întrebări nu vor primi răspuns, dar dacă la ele se va răspunde prin inovații conceptuale în cadrele actualei teorii sau numai în cadrul unei teorii care este astăzi încă inscrutabilă nu este cunoscut.“ (H. Putnam /2/, pag. 157—158.)

---

[21] Numită așa, fiindcă Born a renunțat la ea aderînd la interpretarea standard a lui Bohr și Heisenberg.

---

[22] „Bohr și Heisenberg sînt realiști la nivel macrofizic, care afirmă că natura microcosmului este de așa fel încît nu putem reuși să gîndim despre el în termeni realiști. (Termenul *realism* pare să fie utilizat aici într-un sens special, pentru a desemna supoziția independenței caracteristicilor de stare ale sistemelor fizice de actul observării și măsurării lor — M.F.) Noi avem de a face cu ceea ce s-a numit o 'relație neclasică între sistem și observator', dar aceasta se datorește, în concepția lor, naturii speciale a microcosmului, nu contribuției speciale a conștiinței umane la determinarea realității fizice." (H. Putnam /2/, pag. 150.)

---

[23] Într-o scriere ulterioară, Wigner se exprimă fără echivoc în această privinţă, caracterizînd „actul observaţiei, un act mintal, drept conceptul primitiv al fizicii în termenii căruia sînt formulate regularităţile şi corelaţiile mecanicii cuantice". (E. Wigner, pag. 4.) A. Shimony înfăţişează punctul de vedere al lui Wigner, după care obiectul mecanicii cuantice este stabilirea unor relaţii probabiliste între datele de observaţie, astfel : „Aceasta este un caz special al tezei formulate de Mach, dar anticipată de asemenea filosofi empirişti ca Berkeley, că orice teorie fizică este doar un instrument pentru a organiza percepţiile noastre şi, în particular, pentru a prevedea percepţii viitoare pe baza celor trecute şi prezente." (A. Shimony /2/, pag. 471.) Iată şi comentariul polemic al lui Putnam : „Evenimente *subiective* (percepţia unui 'observator') *determină* schimbări bruşte ale stării fizice ('reducerea pachetului de unde'). *Întrebări :* Ce dovadă există că o 'conştiinţă' este *capabilă* să schimbe starea unui sistem fizic, altfel decît interacţionînd cu el în mod fizic (în care caz, un mecanism automat ar face-o la fel de bine) ? Prin ce *legi* poate o conştiinţă determina producerea 'reducerii pachetului de unde' ? În virtutea căror proprietăţi pe care le posedă este 'conştiinţa' capabilă să afecteze natura în acest mod particular ? Nici un răspuns nu s-a dat vreuneia din aceste întrebări." (H. Putnam /1/, pag. 165.)

Constatarea unui om calificat — nu există o interpretare pe deplin satisfăcătoare a mecanicii cuantice —, constatare care survine după zeci de ani de discuții asupra fundamentelor teoriei, nu poate să nu impresioneze mai ales că ea nu reprezintă punctul de vedere al unui autor izolat, ci un sentiment împărtășit de mulți autori ce consideră din punct de vedere filosofic teoria cuantelor. Celor care se confruntă cu aceste probleme, dificultățile integrării uriașelor realizări ale fizicii atomice într-un tablou științific coerent și unitar li se impun cu o evidență tulburătoare. Nu este greu de înțeles de ce mulți fizicieni teoreticieni ocolesc asemenea probleme, evită să se gîndească la ele sau încearcă să le uite atît timp cît teoria cunoaște mai departe aplicații încununate de succes. A le reproșa pe acest temei că au trădat idealurile autentice ale științei teoretice, cum face Popper[25], mi se pare, totuși, o exagerare. Nu se poate totuși contesta criticilor contemporani ai interpretării standard meritul de a întreține și de a potența aspirația legitimă către o înțelegere cît mai satisfăcătoare a „misterului cuantelor". Printre aceștia o poziție aparte ocupă Mario Bunge, unul din autorii care unește pregătirea de specialitate a fizicianului cu interesele și competența filosofului profesionist.

---

[24] „Pe de o parte, ni se spune că stările formează un vector spațial liniar, adică că două stări pot fi suprapuse. Pe de altă parte, ni se spune că macrocondițiile nu pot fi suprapuse. Concluzia: ceva nu este în regulă cu teoria.“ (H. Putnam /3/, pag. 80—81.)

Nu voi zăbovi asupra criticilor extrem de vehemente ale lui Bunge la adresa interpretării școlii de la Copenhaga. (Vezi îndeosebi M. Bunge /1/, /2/ și /3/.) Aceste critici, ca și cele formulate de Popper sau Landé, se întemeiază pe o concepție realistă asupra cunoașterii, cu accent deosebit asupra distincției dintre referința și testarea unei teorii fizice abstracte, dintre realitatea fizică și experiența fizică[26]. Voi spune doar puține cuvinte despre temeiurile insatisfacției sale față de situația conceptuală din mecanica cuantică și despre calea pe care el crede că ar putea fi depășită această situație, fiindcă aici pot fi surprinse unele elemente semnificative pentru înțelegerea înfruntărilor filosofice pe care le suscită astăzi această problematică.

---

[25] Popper caracterizează indiferența unor fizicieni creatori față de discuțiile privitoare la interpretarea teoriei cuantelor drept „o teorie filosofică asupra naturii științei, care implică inutilitatea năzuinței dizidenților de a înțelege. Este punctul de vedere că nu există aici nimic de înțeles : că nu putem face mai mult decît *să stăpînim formalismul matematic* și *să învățăm cum să-l aplicăm*. Acest punct de vedere, pe care s-au străduit să-l instituie Bohr și alți membri ai ortodoxiei, este, în mod practic, luat ca bun astăzi de grupul... căruia îi aparțin cei mai mulți din cei mai tineri și mai iscusiți fizicieni". (K. R. Popper /7/, pag. 101.) Într-un alt pasaj, el denunță ceea ce apreciază drept o înțelegere greșită a prestigiului și competenței profesionistului, insistînd asupra distincției dintre probleme tehnice și probleme filosofice : „Admirația pentru expertul inaccesibil exaltă simple dificultăți de exprimare și ne tentează să luăm obscuritatea drept profunzime. Trebuie să insistăm asupra necesității de a gîndi clar, asupra simplității și responsabilității intelectuale în discutarea unor subiecte care, în cele din urmă, privesc pe toată lumea." (pag. 157.)

[26] Bunge contestă punctul de vedere larg răspîndit că obiectul teoriei cuantice este rezultatul măsurătorilor. („Conceptele primitive aici sînt observațiile, între rezultatele cărora mecanica cuantică postulează conexiuni probabilistice." E. Wigner, pag. 4.) Interpretarea standard, susține Bunge, confundă o no-

Bunge caracterizează mecanica cuantică drept o teorie puternică din punct de vedere științific și slabă din punct de vedere filosofic. Slăbiciunea filosofică a teoriei s-ar exprima în faptul că, în interpretarea standard, teoria cuantelor nu este în stare să-și indice în mod clar referința. (Vezi M. Bunge /3/, pag. 114.) Această afirmație poate fi înțeleasă ca o reacție la aprecierea lui Heisenberg că ecuațiile teoriei descriu posibilități (potențialul) și nu realitatea fizică. În concepția lui Bunge, calea spre o înțelegere „realistă“ și, deci, satisfăcătoare a mecanicii cuantice poate fi deschisă prin renunțarea la supoziția că descrierea obiectelor teoriei trebuie să fie făcută exclusiv prin utilizarea conceptelor clasice[27]. Bunge afirmă că obiectul teoriei sînt „cuantonii“, entități *sui generis* care nu reprezintă nici particule, nici cîmpuri clasice, dar în anumite condiții fizice seamănă fie cu particulele, fie cu cîmpurile. (Faptul dacă aceste condiții se produc în mod spontan în natură sau sînt produse de experimentator este lipsit de importanță.) Cu alte cuvinte, cuantonul este conceput de Bunge ca un obiect proteiform care poate, în funcție de natura ambianței, în particular a dispozitivelor experimentale, să ia fie forma unei pseudoparticule, fie a unei pseudounde. (Vezi M. Bunge /3/, pag. 141.) Atît timp

---

țiune semantică, referința unei teorii, cu o noțiune metodologică, testarea unei teorii. Ea ar transforma teoria cuantelor într-o „teorie psihofizică“. (Vezi M. Bunge /3/, pag. 119.) Bunge își propune formularea mecanicii cuantice ca o teorie fizică al cărei conținut este independent de observator, ceea ce el caracteriza ca o interpretare propriu-zis fizică a formalismului mecanicii cuantice, fără apel la noțiuni psihologice. (Vezi M. Bunge /3/, pag. 120.) Teoria cuantelor, ca teorie fizică abstractă, nu are drept obiect fenomene empirice ce pot fi caracterizate operațional, ci realități care se situează la un nivel diferit de cel empiric. Teoria poate fi însă testată și trebuie să fie testată, ca și alte teorii fizice, prin raportare la faptele experimentale.

[27] Aceasta echivalează cu răsturnarea uneia din supozițiile fundamentale ale filosofiei ce stă la baza interpretării standard. (Vezi îndeosebi capitolul II.)

cît e descris în termeni clasici, cuantonul ne poate apărea ca un obiect dual. Vom înțelege astfel sursa principiului complementarității, ca și rolul său pozitiv la începuturile mecanicii cuantice cînd oamenii gîndeau în termeni clasici, dar și faptul că analogiile care au stat la baza formulării principiului și-au epuizat de mult valoarea euristică, devenind un obstacol în calea unei interpretări clare a teoriei. Interpretarea curentă a relațiilor lui Heisenberg ca relații de incertitudine (care exprimă limite ale cunoașterii noastre) sau ca relații de indeterminare (care exprimă o lipsă obiectivă de determinare) pornește de la premisa tacită că microobiectele sînt obiecte punctiforme. Singurul temei al acestei reprezentări este că natura ambianței poate să facă obiectele teoriei cuantice să semene uneori cu o particulă clasică, alteori cu un cîmp clasic. Dar acestea sînt doar asemănări sau aproximații clasice. (Vezi M. Bunge /4/, pag. 152—154.) Analiza conceptelor și a supozițiilor de bază ale teoriei cuantice ar indica, crede Bunge, că microobiectele, cuantonii, sînt obiecte întinse care nu au formă și granițe determinate. Ei nu au, ca atare, o poziție precisă și nu se mișcă pe traiectorii precise. Afirmația lui Heisenberg că microobiectele au poziție numai cînd le măsurăm, dacă este tradusă într-un „limbaj fizic obiectiv“, ar putea fi reformulată astfel: un microobiect primește o poziție și o traiectorie numai atunci cînd ambianța, naturală sau artificială, îl înzestrează cu ceva asemănător unei poziții și traiectorii clasice. (Vezi M. Bunge /4/, pag. 154.) Ceea ce ne învață relațiile lui Heisenberg este că „elementele componente de bază ale universului nu posedă nici mărime, nici formă, nici chiar o viteză proprie. O mărime și o formă definită, ca și o valoare precisă a vitezei, sînt proprietăți ce iau naștere la nivel macroscopic, ca și culoarea, conductibilitatea termică sau vîscozitatea“. (M. Bunge /4/, pag. 155.) Bunge crede că o asemenea formulare ar fi de acord cu afirmațiile repetate ale lui Heisenberg că noțiunile de particulă și undă nu aparțin mecanicii cuantice fiindcă sînt noțiuni clasice.

Asemenea exprimări care ar putea eventual sugera că în interpretarea relațiilor de imprecizie poziția autorului ar fi apropiată de cea a lui Heisenberg, că ei ar spune cam același lucru, chiar dacă în limbaje diferite, nu trebuie să ne înșele. În realitate Bunge propune o reinterpretare a mecanicii cuantice care pornește de la supoziții fundamental opuse celor adoptate de școala de la Copenhaga. Bohr și Heisenberg au considerat întotdeauna drept o evidență care nu poate să constituie obiect de discuție că realitatea fizică nu poate fi descrisă decît în limbajul conceptelor fizicii clasice, concepte utilizate în descrierea bazei experimentale a oricărei teorii fizice. Dacă aplicarea conceptelor clasice în fizica atomică conduce la principii ce nu satisfac standardele tradiționale ale descrierii și explicației fizice, aceasta nu poate să însemne altceva decît că aceste standarde vor trebui să fie reconsiderate. Concluzia șocantă pentru o minte de factură clasică, și anume că enunțurile microfizicii nu descriu realul, ci doar potențialul este o ilustrare a acestei opțiuni. Bunge pornește de la o opțiune filosofică fundamental opusă. El conferă standardelor clasice ale descrierii fizice o valoare absolută, lăsînd să se înțeleagă că renunțarea la ele ar însemna renunțarea la exigențe definitorii ale științei teoretice în general. Prin adoptarea acestei supoziții, Bunge se plasează în societatea unor iluștri fizicieni și filosofi ai secolului ca Planck, Einstein, Schrödinger, de Broglie sau Popper. Dacă referința teoriei cuantelor trebuie să fie reprezentată de obiecte reale, și nu de potențialități (aceasta este ceea ce Bunge, ca și Popper sau Landé, consideră drept o exigență minimă a unei înțelegeri „realiste“ sau „obiective“ a teoriei), singura cale de a mai da o interpretare coerentă teoriei, presupunînd că ea nu este doar o primă aproximație, un stadiu provizoriu în evoluția reprezentărilor teoretice, ci o descriere completă a unui domeniu al realității fizice, este de a presupune că obiectele ei sînt entități *sui generis* ce nu pot fi reprezentate satisfăcător prin concepte clasice.

Interpretarea lui Bunge este, în cel mai bun caz, doar un proiect științific foarte general, inspirat de preocupări și scrupule de ordin filosofic, ce se va bucura desigur de aprobarea teoreticienilor care împărtășesc în linii mari opțiunile filosofice ale autorului. Pentru a trezi interesul fizicienilor activi, preocupați în primul rînd de prospectarea unor căi accesibile și promițătoare de sporire a cunoștințelor noastre, această linie de gîndire va trebui însă să-și dovedească capacitatea de a sugera ipoteze fizice noi. Cu alte cuvinte, ea trebuie să probeze că este mai mult decît o simplă interpretare a unei teorii existente. Bunge, ca şi alţi autori care simpatizează cu ideile sale, nu a reuşit pînă acum să facă acest pas.

Cum se întîmplă de multe ori în ştiinţă, o nouă interpretare a mecanicii cuantice se conturează astăzi ca urmare a încercărilor de a interpreta din punct de vedere fizic rezultate tehnice noi. Este vorba de aşa-numitele *inegalităţi ale lui Bell.* Interpretarea teoremei lui Bell şi a rezultatelor unor teste experimentale, realizate pe baza acestei teoreme, dată de eminenţi fizicieni teoreticieni cu interese filosofice, conduce spre o concluzie care se înscrie în linia generală de gîndire reprezentată şi de Bunge : ideile tradiţionale asupra condiţiilor generale ale unei descrieri şi explicaţii teoretice satisfăcătoare în fizică sînt menţinute cu preţul revizuirii unor concepte şi principii fundamentale ale cunoaşterii fizice.

Capitolul VI

Inegalităţile lui Bell şi alternativa actuală în interpretarea fundamentelor teoriei cuantelor

> „Nu există o concepţie unică, ci mai multe concepţii posibile asupra raportului dintre om şi lume şi fiecăreia îi corespunde o interpretare originală a fizicii.“
>
> *B. D'ESPAGNAT* (1965)

Discuţiile asupra fundamentelor teoriei cuantelor au fost aduse într-un stadiu nou, în ultimele două decenii, în principal de evoluţiile pe care le-a generat teorema lui Bell.

Fizicianul american John S. Bell a ajuns la formularea relaţiilor care îi poartă numele ca urmare a interesului său pentru problematica parametrilor ascunşi în fizica atomică. Creşterea interesului specialiştilor pentru această problematică în ultimele două decenii, în condiţiile în care se recunoştea că diferite ipoteze fizice particulare bazate pe parametri ascunşi nu au dat rezultate încurajatoare, este un reflex al sentimentului tot mai larg împărtăşit că, în pofida marilor progrese pe care le-a realizat fizica atomică, nu s-a putut ajunge încă la o înţelegere cît de cît satisfăcătoare a microcosmului. Tot mai mulţi fizicieni teoreticieni din prima linie înclinau să creadă că interpretarea standard, chiar dacă a deschis o perspectivă înnoitoare şi a creat un cadru propice pentru dezvoltarea teoriei cuantelor şi aplicarea ei pe scară largă, rămîne totuşi încărcată de ambiguităţi şi nu poate să răspundă la întrebări al căror interes fizic şi filosofic este greu de contestat. Cu trecerea timpului, contrastul dintre nivelul înalt de elaborare matematică a teoriei cuantelor şi succesul aplicaţiilor ei, pe de o parte, şi lipsa unei viziuni cît de cît clare asupra naturii obiectelor ei, pe de altă parte, devenea tot mai supărător.

Această evoluție a stării generale de spirit se reflectă în mod semnificativ în importanța crescîndă pe care tind s-o acorde cei mai eminenți reprezentanți ai domeniului problemelor de interpretare. Ea este vizibilă îndeosebi prin raportare la mentalitatea dominantă în anii '30, '40 și '50. Stilul de gîndire fizică care se instaurase atunci era pronunțat pragmatic. Se punea preț, în primul rînd, pe coerența internă a teoriei și pe succesul predicțiilor ei. În atmosfera de satisfacție generată de numeroasele aplicații încununate de succes ale teoriei cuantelor, dificultățile de interpretare nu provocau prea multe griji. Se lăsa să se înțeleagă că ele vor putea fi depășite în mod firesc odată cu dezvoltarea teoriei și că nu ar fi potrivit să li se acorde o atenție prea mare. Răspunsurile lui Bohr și Heisenberg, care încercau totuși să lupte cu aceste dificultăți, erau acceptate de comunitatea fizicienilor teoreticieni, în primul rînd pe temeiul marii lor autorități științifice, care continua să crească pe măsură ce teoria, la a cărei elaborare au adus contribuții hotărîtoare, obținea noi succese. Puține minți independente se confruntau într-adevăr cu interpretarea standard a teoriei cuantelor și cînd asemenea confruntări aveau loc rezultatul era de multe ori, cum am văzut, dizidența. Altul pare să fie modul de a vedea lucrurile al liderilor noii generații de fizicieni teoreticieni. Tot mai mulți dintre ei consideră că problema referinței conceptelor și a principiilor mecanicii cuantice, a ceea ce descriu ele din lumea fizică reală, nu poate fi ocolită. Dincolo de insatisfacția filosofică pe care o generează, lipsa de claritate în aceste probleme nu este de natură să impulsioneze progresul fizicii microcosmului. În lipsa unor asemenea clarificări, chiar și acordul specialiștilor cu privire la utilizarea ecuațiilor teoriei pentru predicția datelor experimentale riscă să rămînă totuși superficial. Revelatoare pentru acest spirit nou mi se par următoarele exprimări ale cunoscutului fizician francez B. d'Espagnat dintr-o scrisoare adresată participanților la sesiunea de vară din 1970 a școlii de fizică „Enrico Fermi" de la Varenna : „Este bine să ne bucurăm de anumite elemente reușite de formalism matematic. Nu de prea multe totuși, fiindcă pericolul este ca de îndată ce un om a înțeles un fragment de matematică nebanală aplicată la fizică, el să fie atît de mulțumit de sine încît să poată uita să-și clarifice ce idei conceptuale stau la baza lucrului luat în întregul său." (B. d'Espagnat /2/, pag. XIII-XIV.) Cu douăzeci sau treizeci de ani înainte, asemenea afirmații ar fi putut fi făcute numai de oameni ca Einstein sau Schrödinger și ar fi fost primite în familia fizicienilor teoreticieni drept remarci extravagante pe care își pot permite să le facă numai personalități care se bucură, datorită realizărilor lor științifice din trecut, de o poziție cu totul excepțională. Schimbarea de mentalitate care a avut loc de atunci se reflectă în mod semnificativ în înțelegerea sensibil mai mare pe care o manifestă fizicienii din noua generație pentru temeiurile reticențelor lui Einstein în fața a ceea ce el numea „teoria statistică a cuantelor". Cuvintele lui Einstein dintr-o scrisoare adresată cu puțin timp înainte de moartea sa, la 3 februarie 1955, lui Max Laue — „dacă am învățat ceva din meditațiile unei vieți lungi este că sîntem mult mai îndepărtați de o înțelegere profundă a evenimentelor elementare decît cred cei mai mulți contemporani" (citat după M. Jammer /3/, pag. 164) — intră bine în rezonanță cu starea de spirit a multora dintre ei. Colaboratorul de altădată al lui Einstein, N. Rosen, caracterizează potrivit această stare de spirit, care a cîștigat teren în ultimul timp, într-un articol scris cu ocazia centenarului nașterii lui Einstein : „Astăzi se susține uneori opinia că o teorie trebuie să fie pur și simplu corectă, ceea ce înseamnă că ea trebuie să facă posibilă calcularea numerelor care sînt în concordanță cu rezultatele experimentale, dar că teoria nu trebuie să ne ofere, în mod necesar, și o imagine despre realitate. Se pare însă că cei mai mulți fizicieni doresc o asemenea imagine. Pentru ei cea de a doua problemă, cea a completitudinii, este esențială." (N. Rosen, pag. 60.)

Bell însuși menționează că interesul lui pentru parametrii ascunși a fost stimulat de preocupări pe care fizicienii din generația anterioară obișnuiau să le numească „filosofice" sau „metafizice", sugerînd prin utilizarea pe care o dădeau acestei expresii că este vorba de probleme care nu sînt, spre deosebire de cele propriu-zis „fizice", de primă importanță pentru progresul cunoașterii noastre. Raționamentele lui Bell sînt pe cît de simple pe atît de revelatoare. Interpretarea curentă pornește de la premisa că există o graniță, chiar dacă nu una foarte bine stabilită, între domeniul fizicii clasice și domeniul fizicii cuantice. Conceptele fizicii clasice, singurele care ne stau la dispoziție, fac posibilă o descriere obiectivă a domeniului macroscopic, dar ne vor oferi, prin natura lucrurilor, doar o reprezentare inadecvată, nesatisfăcătoare, și în acest sens „subiectivă“ a lumii atomului. (Vezi J. S. Bell, pag. 171.) Față de această situație, lasă să se înțeleagă Bell, sînt posibile în esență două reacții. Prima ar fi acceptarea pur și simplu a acestei situații ca iremediabilă, adică ceea ce am putea numi o atitudine de resemnare. Filosofia lui Bohr ar fi reprezentativă pentru această poziție. A doua reacție posibilă, pe care Bell o caracterizează de această dată în mod explicit drept punct de plecare al investigațiilor sale, este de a cerceta posibilitatea a ceea ce este „ușor de imaginat“, și anume posibilitatea ca descrierea clasică să poată fi extinsă asupra întregului domeniu al fizicii teoretice, deci și asupra microcosmului. (Vezi J. S. Bell, pag. 172.) Forța de atracție a acestei alternative nu este greu de înțeles. Pe de o parte, „obiectivitatea“ descrierii microcosmului (în sensul clasic al termenului) ar putea fi restabilită. Pe de altă parte, ar deveni posibilă, din nou, o înțelegere unitară a lumii fizice, un vechi ideal căruia fizicianul teoretician îi rămîne atașat în adîncul sufletului său. În cuvintele lui Bell, această posibilitate este „posibilitatea de a avea o lume în loc de două“. (Vezi J. S. Bell, pag. 172.) Bell recunoaște că perspectiva de a determina mai precis condițiile unei asemenea posibilități a constituit imboldul cel mai adînc care l-a condus în cercetările sale asupra problemei parametrilor ascunși[1]. Nespecialistul trebuie să fie din capul locului avertizat că vorbind despre „parametri ascunși“, Bell și alți fizicieni care au îmbogățit în ultimul timp literatura acestei probleme nu au în vedere o ipoteză sau alta despre natura acestor parametri, cum ar fi ipoteza „nivelului subcuantic“ a lui Bohm și Vigier sau a „termodinamicii ascunse a particulelor“ („a termostatului ascuns“), dezvoltată de de Broglie, după 1960, ci posibilitatea de principiu a unei descrieri de tip clasic a lumii subatomice[2]. Este impor-

---

„Această posibilitate a unei descrieri omogene a lumii este pentru mine motivația de căpetenie a studiului posibilității așa-numiților 'parametri ascunși'.“ (J. S. Bell, pag. 172.)

[2] „Au fost făcute un număr de încercări (unele din ele preced argumentul E.R.P.) de a construi descrieri ale sistemelor

tant de menționat că o demonstrație a acestei posibilități este pe deplin compatibilă cu recunoașterea insuccesului tuturor teoriilor cu parametri ascunși care au fost formulate pînă acum, luînd expresia în acest sens foarte general, care înglobează și încercările lui Einstein sau Schrödinger[3].

Într-o formulare generală, problema pe care și-a pus-o Bell este dacă în principiu teoriile cu parametri ascunși „locale“ (expresia, pe care o voi utiliza de acum înainte fără ghilimele, desemnează toate teoriile care adoptă ca postulat sau ca presupoziție tacită acțiunea din aproape în aproape), și în același timp strict deterministe[4], permit derivarea tuturor predicțiilor cantitative ale mecanicii cuantice. (Vezi J. S. Bell, pag. 173.) Prin cercetările sale, celebrul fizician a ajuns la două rezultate considerate drept fundamentale. El a demonstrat, pe de o parte, că argumentele lui J. von Neumann, ca și argumentele formulate mai tîrziu de alți fizicieni teoreticieni (J. M. Jauch și C. Piron, A. M. Gleason) împotriva introducerii de parametri ascunși pentru explica-

---

fizice mai complete decît descrierea mecanic cuantică. Denumirea generică pentru asemenea descrieri este 'teorii cu parametri ascunși'.“ (A. Shimony /3/, pag. 9.)

[3] B. d'Espagnat subliniază, de exemplu, că toate încercările de acest fel au dus pînă acum la ecuații extrem de complicate, că de-a lungul unei jumătăți de secol ele nu au produs nici o predicție testabilă dincolo de cele ce pot fi deduse din teorii matematic mai simple fără parametri ascunși, pentru a conchide prudent, și totuși categoric, că „sterilitatea actuală a teoriilor cu parametri ascunși este incontestabilă“. (B. d'Espagnat /5/, pag. 17.)

[4] Această precizare este importantă pentru a determina mai bine poziția lui Bell. Într-adevăr, posibilitatea unei „descrieri clasice a microcosmului“ poate fi înțeleasă în două feluri, într-un sens mai restrîns sau mai larg. În sensul restrîns este vizată posibilitatea descrierii lumii atomice în termenii unor concepte și legi fizice de tip clasic, posibilitate în care au crezut sau cred fizicieni ca Einstein, Schrödinger, de Broglie sau Landé. În sensul larg este avută în vedere posibilitatea unei descrieri „realiste“ a lumii atomice, a unei descrieri a caracteristicilor proprii sistemelor atomice independent de interacțiunea lor cu dispozitivele de observare și măsurare, în spiritul distincției lui Bunge între referința și testarea unei teorii fizice. Introducerea unor concepte neclasice pentru descrierea obiectelor teoriei este, în acest caz, presupusă sau admisă. Condiția menționată de Bell, descrierea să fie „deterministă“, indică că el are în vedere o descriere clasică în sensul restrîns al cuvîntului.

rea stărilor cuantice nu exclud totuşi un tip de teorii cu parametri ascunşi numite *contextualiste*. Pe de altă parte, Bell a reuşit să demonstreze că orice teorie cu parametri ascunşi care satisface condiţia pe care el a numit-o „localitate“ — nu există decît acţiuni din aproape în aproape — face predicţii statistice care sînt în dezacord cu cele derivate din mecanica cuantică. Această demonstraţie poate fi redată, într-un mod foarte general şi netehnic, astfel : Sînt formulate anumite relaţii matematice între proprietăţi stabile ale particulelor elementare, relaţii cunoscute acum sub numele de *inegalităţile lui Bell*. Se arată că în timp ce din teoriile locale cu parametri ascunşi decurge validitatea generală a acestor inegalităţi, din mecanica cuantică rezultă că ele vor fi uneori violate. (Vezi B. d'Espagnat /4/, pag. 160 şi pag. 171.) Descoperirea lui Bell a modificat radical bazele evaluării teoriilor cu parametri ascunşi. După cum am arătat mai sus, ipoteze despre parametri ascunşi au fost introduse de fizicieni care năzuiau spre o interpretare obiectivă şi deterministă a mecanicii cuantice. Asemenea propuneri au fost respinse de apărătorii interpretării standard tocmai pe temeiul că sînt simple reinterpretări ale rezultatelor cunoscute ale mecanicii cuantice, că sînt lipsite de orice valoare euristică şi, în ultimă instanţă, de orice semnificaţie fizică, în măsura în care nu pot produce predicţii diferite de cele ale mecanicii cuantice. Iată însă că teorema lui Bell a condus la rezultatul esenţial nou că teoriile locale cu parametri ascunşi nu sînt, cum s-a crezut, interpretări ale mecanicii cuantice convenţionale, ci teorii alternative, care conduc la predicţii diferite faţă de cele ale mecanicii cuantice. Teorema lui Bell indică posibilitatea realizării unor experimente în măsură să testeze întreaga familie a teoriilor locale cu parametri ascunşi. Altfel spus, Bell a elaborat fundamentele realizării unui experiment crucial între mecanica cuantică şi teoriile locale cu parametri ascunşi. Pe baza teoremei lui Bell, J. F. Clauser, M. A. Horne, A. Shimony şi R. A. Holt au formulat pentru prima dată, în 1969, sugestii concrete pentru realizarea unor asemenea experimente. Relevanţa rezultatelor acestor experimente pentru problematica ce a stat de-a lungul anilor în centrul controverselor asupra fundamentelor mecanicii cuantice sare în ochi. Presupunînd că rezultatele experimentelor propuse ar confirma predicţiile mecanicii cuantice, ele vor putea fi considerate de majoritatea fizicienilor, cum se exprimă cu reţinere Bell, „ca o severă descurajare a ideii parametrilor ascunşi“. (Vezi J. S. Bell, pag. 180.) Dimpotrivă, infirmarea experimentală a unor predicţii ale mecanicii cuantice ar constitui, evident, un puternic sprijin în favoarea teoriilor cu parametri ascunşi. Cum era şi firesc, realizarea experimentelor şi rezultatele lor au fost aşteptate cu nerăbdare şi cu speranţe diferite de fizicienii şi filosofii angajaţi în discuţiile asupra fundamentelor teoriei cuantelor [5].

Rezultatele unui prim experiment de acest tip au fost comunicate de S. J. Freedman şi J. F. Clauser în 1972. Aceste rezultate erau într-un foarte bun acord cu predicţiile mecanicii cuantice şi, prin urmare, defavorabile teoriilor locale cu parametri ascunşi. De atunci au fost realizate mai multe asemenea experimente. Astfel, între 1972 şi 1976 au fost realizate în total şapte experimente, dintre care cinci au pus în evidenţă o violare a inegalităţilor lui Bell. Şi tocmai aceste experimente, favorabile mecanicii cuantice, sînt socotite cele mai demne de încredere. (Vezi A. Shimony /3/, pag. 10.) Specialiştii subliniază totodată că experimentele realizate pînă acum implică multe idealizări, astfel încît rezultatele lor nu pot fi considerate pe deplin concludente. Aceasta în sensul că un apărător hotărît al teoriilor locale cu parametri ascunşi ar putea contesta că violarea inegalităţilor lui Bell a fost probată experimental, în ciuda faptului că experimentele cele mai demne de încredere le infirmă, fără ca o asemenea poziţie să pună sub semnul întrebării competenţa sau buna lui credinţă. În fapt, însă, specialiştii consideră că orice explicație a faptelor experimentale cunoscute în condițiile menținerii principiului acțiunii din aproape în aproape conduce la ipoteze foarte artificiale. Concluzia că teoriile locale cu parametri ascunși au fost infirmate experimental este astăzi larg acceptată. (Vezi, de exemplu, A. Shimony /1/ și /3/ sau B. d'Espagnat /4/, /5/ și /6/.) Acest rezultat are o semnificație filosofică fundamentală. El deschide o fază nouă în discuțiile asupra interpretării mecanicii cuantice.

---

[5] Despre Bell însuşi, care susţinea că o explicare unitară a lumii este de dorit, se poate presupune că ar fi salutat confirmarea experimentală a consecinţelor teoriilor locale cu parametri ascunşi drept o indicaţie asupra unei modalităţi directe şi eficiente de realizare a acestui deziderat. Dacă, dimpotrivă, experimentele ar fi nefavorabile acestor teorii, faptul ar reprezenta pentru el o indicaţie că trebuie să încercăm atingerea idealului unei descrieri unitare a lumii fizice pe alte căi. Semnificativă este poziţia lui Popper, un autor ale cărui opţiuni filosofice sînt mult mai stricte şi mai radicale. Consecvent cu angajările sale, Popper recunoaşte în mod cinstit că atunci cînd a auzit prima dată că specialiştii sînt pe cale să realizeze teste experimentale concludente, el a aşteptat o infirmare a teoriei cuantelor ! (Vezi K. R. Popper /7/, pag. 25.)

Pentru a înțelege cît de cît amploarea și profunzimea reconsiderărilor ce se impun, trebuie să avem în vedere că principiul localității sau nonseparabilității, principiul după care toate acțiunile fizice se propagă cu viteze finite, astfel încît două evenimente fizice distanțate în spațiu pot fi considerate separate, este o reprezentare familiară asupra naturii, adînc înrădăcinată atît în structura gîndirii curente, cît și în structura gîndirii fizice. B. d'Espagnat, care a fost preocupat în mod deosebit de analiza semnificației filosofice generale a infirmării experimentale a principiului separabilității, subliniază că gîndirea teoretică, în speță gîndirea fizică, s-a dezvoltat de-a lungul secolelor în cadrele unei concepții despre natură întemeiate pe acest principiu, pe care o numește *multidinism.* Această concepție consideră universul natural ca fiind constituit dintr-un număr uriaș de elemente cu proprietăți simple, care aparțin unui număr mic de specii sau genuri distincte de entități fizice ; fiecare din aceste elemente ocupă o mică regiune a spațiului și exercită o influență limitată asupra comportării elementelor distanțate ; interacțiunea elementelor, considerată local și cauzal, dă naștere unor combinații care explică marea complexitate de fenomene și efecte observabile. (Vezi B. d'Espagnat /2/, pag. 730.) O ilustrare exemplară a acestei concepții este atomismul filosofic și atomismul științific ale secolului al XIX-lea. Dar și teoriile clasice și, respectiv, relativiste ale cîmpului se mișcă în cadrele aceleiași reprezentări generale. Într-adevăr, cîmpurilor li se atribuie, în fiecare moment și în fiecare regiune a spațiului, valori locale determinate care nu afectează valorile cîmpului la distanțe mari. Mai mult, în teoriile relativiste separabilitatea se transformă dintr-o presupoziție mai mult latentă într-un principiu fizic, prin introducerea postulatului constanței vitezei luminii. Recunoscînd atît plauzibilitatea intuitivă cît și acceptarea cvasigenerală a acestei reprezentări asupra universului natural, d'Espagnat apreciază că ea se dovedește incompatibilă cu noile date experimentale. Fizicianul francez afirmă că „în ciuda marelui său succes (în fizica clasică, în biologia moleculară), modelul multidinist este inadecvat pentru a fi ridicat la rangul de filosofie naturală". (Vezi B. d'Espagnat /3/, pag. 730—731.) Utilizarea expresiei „model" își propune să sublinieze că este vorba de o reprezentare care, ca și alte reprezentări cum sînt spațiul absolut, timpul absolut sau simultaneitatea absolută, s-a dovedit justificată în domenii limitate ale experienței și pentru scopuri specifice, ceea ce explică utilitatea ei în aceste domenii și înrădăcinarea ei profundă în structura gîndirii noastre, dar nu poate pretinde valoarea universală și semnificația teoretică care i s-au atribuit. Cu alte cuvinte, multidinismul apare în lumina noilor revoluții din fizica teoretică ca un element al ontologiei tradiționale, care mai poate pretinde cel mult o justificare practică pe baza unui „principiu de corespondență". Aceste evoluții sugerează o concepție nouă asupra unității naturii, bazată pe principiul nonseparabilității. Potrivit acestui principiu, două sisteme fizice care sînt îndepărtate în spațiu în momentul t_2, sisteme care au interacționat într-un moment anterior t_1, cînd erau foarte apropiate, vor continua să interacționeze oricît de mare ar fi distanța relativă dintre ele, și anume prin influențe instantanee. Altfel spus, sisteme fizice oricît de depărtate în spațiu unele de celelalte, în prezent, nu sînt de fapt separate, dacă au fost în interacțiune în trecut.

O asemenea concepție asupra naturii, care, așa cum spune d'Espagnat, cere un efort remarcabil de „imaginație conceptuală" (vezi B. d'Espagnat /5/, pag. 56), reprezintă o puternică provocare nu numai pentru nespecialist, ci și pentru comunitatea restrînsă a fizicienilor teoreticieni și a filosofilor fizicii. În particular, noua concepție este în conflict sistematic cu bazele teoriei relativității. Shimony observă că dacă acceptăm valabilitatea principiului separabilității în domeniul de aplicare al teoriei relativității este foarte artificial să presupunem că acest principiu eșuează pentru teoriile cu parametri ascunși, știut fiind că teoria relativității este o teorie generală a spațiu-timpului, și nu a unor sisteme fizice speciale. (Vezi A. Shimony /1/, pag. 191—192.)

Popper merge chiar mai departe, apreciind că dacă se va confirma că noile experimente trebuie interpretate ca o infirmare a acţiunii la distanţă, atunci ne găsim în faţa unei infirmări experimentale a principiilor teoriei relativităţii. O asemenea infirmare ar echivala, crede Popper, cu un experiment crucial în favoarea interpretării formalismului teoriei restrînse a relativităţii dată de către Lorentz, cu un argument pentru timpul şi spaţiul absolute al lui Newton. (Vezi K. R. Popper /7/, pag. 25 şi 30.)

Ce lumină aruncă critica experimentală a principiului separabilităţii asupra vestitei controverse dintre Einstein şi Bohr, din deceniile patru şi cinci ? Einstein a atacat, cum se ştie, prin experimentul E.R.P., punctul de vedere că mecanica cuantică este o descriere completă a realităţii fizice, demonstrînd că acest punct de vedere implică violarea principiului acţiunii din aproape în aproape, acceptarea a ceea ce el numea într-o scrisoare „acţiuni fantomatice la distanţă“. Toţi comentatorii contemporani sînt de acord că Einstein atribuia o valabilitate absolută, *a priori* principiului acţiunii din aproape în aproape, ca şi principiului realismului, şi a considerat că şi-a atins scopul demonstrînd că interpretarea standard a mecanicii cuantice intră în contradicţie cu aceste principii. Recunoscîndu-se că demonstraţia lui Einstein este corectă, adică are un caracter constrîngător, urmează că infirmarea experimentală a teoriilor locale cu parametri ascunşi se întoarce cel puţin împotriva uneia dintre premisele sale, a principiului separabilităţii sau a criteriului realităţii, aşa cum a fost formulat de Einstein, sau a amîndurora[6]. Fizicienii contemporani sînt de acord că argumentarea lui Einstein din E.R.P. şi din lucrări ulterioare (vezi îndeosebi A. Einstein /6/, /8/ şi /9/) cade fiindcă nu toate premisele ei sînt corecte. Cel puţin una dintre aceste premise, principiul separabilităţii, trebuie abandonată.

Ne putem desigur pune întrebarea cum ar fi reacţionat Einstein însuşi dacă ar fi fost confruntat cu aceste evoluții ? Mulți contemporani cred că respectul pentru integritatea profesională și morală a marelui fizician le-ar impune să presupună că el ar fi acceptat dovezile experimentale și ar fi revizuit premisa, presupusă a fi totuși mai puțin fundamentală, a raționamentelor sale, admițînd acțiunea fizică instantanee la distanță. B. d'Espagnat scrie textual că „au fost realizate experimente care l-ar fi silit pe Einstein să-și schimbe concepția asupra naturii într-un punct pe care l-ar fi considerat esențial". (Vezi B. d'Espagnat /3/, pag. 734.) Aceasta este desigur o posibilitate. Cred însă că, în spiritul dezvoltărilor de pînă acum, este plauzibil să admitem că Einstein ar fi privit cu suspiciune extremă noile date experimentale și nu le-ar fi acceptat, așteptînd ca dezvoltarea viitoare a fizicii să justifice această decizie. Într-adevăr, este destul de greu de presupus că Einstein ar fi putut gîndi o lume fizică fără acțiunea din aproape în aproape și ar fi acceptat să pună această supoziție sub controlul experienței, ca pe o ipoteză fizică oarecare. Și aceasta, cu atît mai mult, în condițiile în care specialiștii recunosc, cum aminteam mai sus, că un fizician presupus competent, care apără teoriile locale cu parametri ascunși, nu va deveni suspect din acest punct de vedere. Nici relația dintre principiul separabilității și interpretarea standard a mecanicii cuantice nu este cu totul clară. Popper, de exemplu, susține că interpretarea standard s-ar întemeia pe teoria relativității și, deci, pe principiul separabilității. Bohr și Heisenberg nu numai că nu ar fi bănuit că mecanica cuantică și principiul separabilității sînt incompatibile[7], dar ei ar fi considerat o asemenea incompatibilitate drept un argument extrem de puternic împotriva teoriei cuantice și poate chiar ca o infirmare a ei. Poziția lui d'Espagnat este sensibil diferită. Fizicianul francez consideră că nonseparabilitatea (acțiunea la distanță) este o consecință ce poate fi derivată pe cale teoretică din principiile mecanicii cuantice. Este adevărat că derivarea a fost realizată pentru prima dată de Bell și că principiul nonseparabilității a fost supus abia recent controlului experienței. Dar Bohr trebuie să fi fost cel puțin parțial conștient de această consecință a teoriei cuantelor, ceea ce se poate vedea din insistența lui asupra principiului indivizibilității (microsistemele și dispozitivele experimentale constituie un tot indivizibil). Precizînd că principiul indivizibilității nu se identifică cu principiul nonseparabilității, în măsura în care primul se referă la interacțiunile microsistemelor cu dispozitive macroscopice, iar al doilea la interacțiuni între sisteme microscopice, și în măsura în care indivizibilitatea se referă la relații între sisteme fizice care nu au fost pînă atunci în interacțiune (vezi B. d'Espagnat /5/, pag. 42), autorul lasă totuși să se înțeleagă că cele două principii sînt relativ echivalente. Altfel spus, dacă infirmarea acțiunii din aproape în aproape este un rezultat fundamental și distrugător pentru teoriile locale cu parametri ascunși, ea nu reprezintă ceva esențial nou pentru susținătorii interpretării standard a mecanicii cuantice. Am semnalat aceste deosebiri de păreri fiindcă ele mi se par pline de tîlc. Popper insistă asupra tezei sale istorice — interpretarea standard s-a întemeiat pe principiul separabilității — fiindcă pornește de la presupunerea că fizicienii teoreticieni din noua generație ar considera infirmarea experimentală a principiului separabilității drept o confirmare a concepțiilor școlii de la Copenhaga și o lovitură dată realismului. (Vezi K. R. Popper /7/, pag. 22.) Dimpotrivă, d'Espagnat, care face parte din această familie, crede că recunoașterea unei analogii strînse între principiul nonseparabilității și principiul indivizibilității nu ne conduce la acceptarea interpretării școlii de la Copenhaga.

---

[6] Argumentul E.R.P. este că incompletitudinea descrierii mecanic-cuantice rezultă din formalismul teoriei împreună cu două premise adiţionale, pe care autorii lui le consideră indiscutabile : principiul separabilităţii şi „criteriul de realitate“ al lui Einstein. Numai admiţînd aceste premise poate fi demonstrată incompletitudinea mecanicii cuantice. (Vezi A. Shimony /3/, pag. 7—11.)

---

[7] Ei nu ar fi înțeles argumentul E.R.P., care a pus în evidență, pentru prima dată, această incompatibilitate.

Să ne concentrăm acum asupra problemei centrale a acestui capitol. Considerînd că principiul nonseparabilității a fost acceptat și că teoriile locale cu parametri ascunși au fost declarate ca infirmate în lumina experimentelor amintite, ne putem întreba : există mai multe interpretări alternative ale mecanicii cuantice, compatibile cu acceptarea principiului nonseparabilității, și care sînt acestea ? Aceasta este desigur o temă cu totul nouă și ar fi prematur să așteptăm răspunsuri analitic elaborate și complete. Experimentul crucial care a fost realizat exclude o întreagă clasă de interpretări ale mecanicii cuantice de care și-au legat speranțele mulți fizicieni eminenți ai secolului nostru, teoriile locale cu parametri ascunși. Acest experiment nu impune totuși în mod univoc o anumită interpretare a mecanicii cuantice. Noua situație permite interpretări diferite. Argumentele tehnice general acceptate de specialişti nu pot determina o alegere între ele. Alegerea depinde, în ultimă instanţă, de înclinaţii de ordin filosofic[8]. Este concluzia ce rezultă clar din analizele întreprinse recent de doi fizicieni teoreticieni, recomandaţi deopotrivă printr-o atît de rară îmbinare a calificării de specialitate cu o competenţă filosofică, Abner Shimony şi Bernard d'Espagnat.

Shimony observă că, în principiu, noile experienţe nu exclud posibilitatea unor teorii nonlocale cu parametri ascunşi. El precizează însă că familia acestor teorii este mult prea largă, că unii din membrii ei par să fie teorii netestabile, compatibile cu orice fel de date experimentale. Pentru a lua în serios teoriile nonlocale cu parametri ascunşi, ca alternativă la interpretarea standard, ar trebui în prealabil să fie formulat un principiu euristic care să permită delimitarea unei subfamilii suficient de mici de teorii de acest tip cu consecinţe empirice bine determinate. Pînă atunci, putem să trecem cu vederea această posibilitate. (Vezi A. Shimony /1/, pag. 191.) Ce cale mai rămîne deschisă în acest caz ? Fizicianul american este de părere că în noua situaţie nu mai sînt posibile decît două interpretări coerente ale mecanicii cuantice. Nu putem spune astăzi care dintre ele este cea *corectă.* (Vezi A. Shimony /3/, pag. 2.) O asemenea exprimare, tipică pentru modul de a vorbi al fizicianului, poate fi tradusă astfel : adoptarea uneia sau alteia reprezintă o opţiune filosofică. Valoarea sau fertilitatea ştiinţifică ale unei asemenea opţiuni vor putea fi judecate eventual *post festum* în lumina evoluţiei viitoare a cunoaşterii fizicii. Ceea ce Shimony nu mai spune este că opţiunea filosofică spontană sau conştientă a cercetătorilor activi influenţează, în acest caz, ca şi în alte cazuri, la rîndul ei, orientarea cercetării fizice.

Prima interpretare porneşte de la abandonarea „criteriului realităţii" al lui Einstein, cu alte cuvinte a cerinţei ca orice descriere teoretică a realităţii fizice să fie o descriere de tip clasic, să ne informeze asupra proprietăţilor sistemelor fizice aşa cum sînt ele, independent de procesul observaţiei şi al măsurării lor. Caracterizarea pozitivă a acestei poziţii, atribuită în genere şcolii de la Copenhaga, este mai dificilă. Ezitările lui Shimony sînt în această privinţă evidente. Pe de o parte, el recunoaşte că Bohr are în vedere o dependenţă a caracteristicilor de stare ale sistemelor microfizice de dispozitivele experimentale macroscopice, şi nu de observator, ca subiect. (Vezi A. Shimony /3/, pag. 13.) Pe de altă parte, Shimony caracterizează filosofia lui Bohr ca „nonontologică" şi îi reproşează că este „o perspectivă foarte antropocentrică asupra cunoaşterii ştiinţifice, care nu caracterizează corect întreprinderea ştiinţifică". (Vezi A. Shimony /3/, pag. 11.) Din comentariile lui Shimony nu reiese destul de clar dacă rezervele sale faţă de interpretarea standard a mecanicii cuantice se întemeiază pe impresia că aceasta ar fi incompatibilă cu o concepţie realistă asupra cunoaşterii fizice în general[9] sau, dimpotrivă, are în vedere faptul că poziţia lui Bohr şi Heisenberg nu este destul de clară şi de elaborată din punct de vedere filosofic[10]. În cele din urmă, Shimony nu pare dispus să accepte interpretarea şcolii de la Copenhaga fiindcă aceasta nu satisface cerinţa ca teoria fizică să descrie caracteristicile sistemelor fizice, a microsistemelor, aşa cum sînt ele independent de actul observaţiei şi al măsurării. Deşi înfăţişează oarecum neutru cele două interpretări, nu este greu să ne dăm seama că fizicianul american nu se împacă cu prima şi înclină, deci, prin forţa lucrurilor, să o adopte pe cea de-a doua.

---

[8] Cum am văzut, această situaţie se reproduce mereu în istoria dezvoltării interpretărilor mecanicii cuantice. În controversele dintre susţinătorii unor interpretări alternative pe primul plan apar adeseori argumentele tehnice, dar ele nu sînt, în general, constrîngătoare decît dacă sînt acceptate în prealabil anumite principii sau supoziţii de natură filosofică.

---

[9] „Istoria ştiinţei a fost, în parte, o istorie a descoperirii unor corectări ale antropocentrismului, a învingerii unor limitări omeneşti prin deducerea unor trăsături ale naturii care nu sînt direct perceptibile, a evaluării şi corectării particularităţilor facultăţilor noastre senzoriale şi cognitive. Nu există dovezi că microfizica secolului XX a fost o întrerupere sau o răsturnare a acestei istorii a corectărilor antropocentrismului. Ea pare să fie tocmai contrariul." (A. Shimony /3/, pag. 12.)

[10] „Ceea ce este mai important, eu nu cred că există în literatură, în scrierile lui Bohr sau ale altcuiva, o formulare bine elaborată şi coerentă a interpretării nonontologice a mecanicii cuantice... Bohr este un mare fenomenolog al cercetării ştiinţifice, el a spus unele lucruri profunde despre dispozitivele experimentale, dar nu cred că el a reuşit să ocolească *cu succes* problema caracterizării stărilor intrinseci ale sistemelor fizice." (A. Shimony /3/, pag. 12—13.)

Această a doua interpretare poate fi caracterizată simplu spunînd că menține conceptul tradițional al descrierii teoretice în fizică, „cerința realității“ a lui Einstein, sacrificînd în schimb principiul separabilității, căruia creatorul teoriei relativității îi conferea de asemenea o valoare imperativă, absolută. Admițînd că stările cuantice sînt stări fizice cu totul neobișnuite din punctul de vedere al ideilor și conceptelor fizicii de pînă acum — într-un sistem format dintr-o pereche de fotoni, fiecare element, considerat separat, nu are o stare definită[11] —, nu am mai fi siliți să renunțăm la exigența „realistă“, potrivit căreia teoria fizică trebuie să descrie caracteristicile intrinseci ale acestor stări, independent de actele de observare și măsurare. Shimony subliniază că prețul ce trebuie plătit pentru a conserva concepția tradițională asupra descrierii fizice, ținînd seama de semnificația experimentelor pe care le-a făcut posibile teorema lui Bell, este considerabil; concepte și principii cum sînt cele ale teoriei relativității și alte concepte și principii fizice, tot așa de fundamentale, vor trebui să fie reconsiderate. (Vezi A. Shimony /3/, pag. 13—17.) El crede însă că situația ce s-a creat este de așa natură încît interpretările ușor de acceptat, cele apropiate de simțul comun, nu mai au nici o perspectivă. Logica situației ne impune deci să acceptăm reconsiderări radicale, fie într-o direcție, fie în alta. În cuvintele lui Shimony: „...trebuie să recunoaștem fie că proprietățile intrinseci ale lumii sînt foarte stranii, sau că teoriile științifice spun mult mai puțin despre proprietățile intrinseci ale lucrurilor decît au presupus în mod obișnuit oamenii de știință“. În termeni mai generali, alternativa ar putea fi reformulată, cred, astfel: fie revizuirea unor concepte și principii fundamentale, adică modificări profunde ale ideilor noastre asupra lumii fizice, fie o reconsiderare a conceptului descrierii teoretice în fizică. Fizicianul teoretician nu ar dori desigur să fie pus în fața unei asemenea alegeri, dar Shimony susține că, acum, ea nu mai poate fi ocolită. El însuși optează pentru prima interpretare, nu fiindcă ideea în sine l-ar entuziasma sau fiindcă nu ar fi conștient de marile dificultăți și complicații pe care le implică[12], ci datorită unei aversiuni oarecum instinctive, pe care nu și-o poate învinge, față de cea de a doua. Teoriile locale cu parametri ascunși, care ar fi cea mai bună alternativă atît timp cît considerăm lucrurile în mod abstract, trebuie respinse din rațiuni constrîngătoare, de ordin experimental, iar interpretarea standard nu i se pare acceptabilă din motive filosofice. Nu mai rămîne decît calea unor reconsiderări radicale ale ideilor noastre asupra lumii fizice. Natura însăși a situațiilor problematice de tipul aceleia pe care ne-o înfățișează Shimony a fost caracterizată cu multă luciditate, este adevărat, cu referire la circumstanțe mai particulare, de către Pauli : „Dacă sînt descoperite noi trăsături ale fenomenelor naturii, care sînt incompatibile cu sistemul teoriilor acceptate în acel moment, se pune problema care dintre principiile utilizate în descrierea naturii sînt destul de generale pentru a cuprinde noua situație și care trebuie să fie modificate sau abandonate. Atitudinea diferiților fizicieni față de o problemă de acest fel, care pune la grea încercare intuiția și tactul unui om de știință, depinde într-o anumită măsură de temperamentul personal al cercetătorului." (W. Pauli /2/, pag. 149.) Referirea lui Pauli la intuiția" și „tactul" omului de știință sugerează că este vorba în acest caz de decizii în condiții de risc, care nu pot fi întemeiate, în ultimă instanță, nici deductiv, nici experimental, ci doar apreciate retrospectiv, uneori la distanțe mari în timp, în lumina evoluției ulterioare a cunoașterii științifice. Cît privește invocarea „temperamentului personal al cercetătorului", se pare că Pauli vizează prin această expresie ansamblul vag conturat al vederilor și înclinațiilor personale, subiective. În situația de față, ca și în alte situații pe care le-am prezentat și discutat în această carte, este vorba în primul rînd de idei filosofice, de reprezentări mai mult sau mai puțin elaborate cu privire la trăsăturile de bază ale lumii fizice şi de exigenţe fundamentale ale descrierii ei teoretice.

---

[11] Autorul denumește această situație *nonseparabilitate cuantică* — o versiune mecanic-cuantică a tezei holiste —, caracterizînd-o în termenii următori: „nu se spune că starea întregului nu poate fi epuizată prin specificarea stării părților, ci, mai degrabă, că tocmai părțile nu sînt într-o stare definită“. (Vezi A. Shimony /3/, pag. 5.)

---

[12] Spre deosebire de alți autori, ca M. Bunge, care teoretizează necesitatea renunțării la conceptele fizicii clasice în mecanica cuantică, Shimony pare să fie stăpînit de sentimentul acut că fizica teoretică se angajează în acest caz pe un drum plin de greutăți și riscant în măsura în care atingerea obiectivelor urmărite nu este dinainte garantată.

La o privire mai atentă se poate constata că o caracterizare asemănătoare a situaţiei ce s-a creat în urma evoluţiilor pe care le-a generat teorema lui Bell, a căilor ce rămîn deschise, precum şi o opţiune apropiată a formulat şi d'Espagnat. Spre deosebire de Shimony, fizicianul francez realizează însă o analiză cuprinzătoare a marilor poziţii în filosofia fizicii, aşa cum au fost ele cristalizate de îndelungatele discuţii şi confruntări asupra fundamentelor teoriei cuantelor, şi încearcă să elaboreze o întemeiere epistemologică sistematică a propriei sale opţiuni.

Din noua perspectivă pe care a creat-o infirmarea principiului separabilităţii, d'Espagnat caracterizează fundalul filosofic al discuţiilor asupra fundamentelor teoriei cuantelor care au avut loc la mijlocul secolului nostru ca o înfruntare între un realism de o factură mai mult sau mai puţin tradiţională, un realism mai mult sau mai puţin „apropiat" [13] şi ceea ce el numeşte „filosofia experienţei". Interpretările mecanicii cuantice solidare cu prima din aceste perspective filosofice ne apar, acum, drept încercări de a apropia cît se poate mai mult fundamentele mecanicii cuantice de cele ale mecanicii clasice. Din punctul de vedere al filosofiei realiste a cunoaşterii, aşa cum o înţelege d'Espagnat, obiectul teoriei fizice îl constituie realitatea fizică, o realitate nu numai independent de existenţa observatorului, dar şi de orice act de observaţie şi măsurare. Pe scurt, principiul realismului este principiul existenţei unei realităţi fizice „independente" sau „intrinseci". (Vezi B. d'Espagnat /5/, pag. 13.) Aplicat lumii atomice, acest principiu implică că, „are sens să vorbim de existenţa cutărui sau cutărui sistem microscopic, indiferent dacă există sau nu un instrument de măsură susceptibil de a interacţiona cu el. Un asemenea sistem poate avea de asemenea anumite proprietăţi fizice, independent de existenţa sau de prezenţa unor asemenea instrumente". (B. d'Espagnat /1/, pag. 26.) „Filosofia experienţei", o filosofie a fizicii dezvoltată îndeosebi de școala de la Copenhaga, raportează teoria fizică nu la o realitate „intrinsecă“, ci la experiență. Scopul teoriei fizice, în această perspectivă, este de a descrie corect și economic datele de observație și de a formula predicții despre observații noi. Teoria cuantică nu descrie caracteristicile de stare ale microsistemelor independent de actele de observație și măsurare, ci permite formularea unor predicții asupra rezultatelor observațiilor și măsurătorilor noastre. Dacă pentru fizicianul realist o descriere fizică *obiectivă* este o descriere care poate fi adevărată chiar dacă nu există un observator, fizicianul care adoptă „filosofia experienței“ utilizează această exprimare pentru a desemna o descriere care poate fi acceptată ca adevărată de orice observator. Altfel spus, o descriere fizică este obiectivă dacă este invariantă față de schimbarea observatorilor. D'Espagnat numește această obiectivitate, *obiectivitate slabă,* în opoziție cu *obiectivitatea puternică* pe care o implică conceptul realist al independenței descrierii fizice nu numai față de trăirile observatorului, ci și de mijloacele de investigație utilizate. (Vezi B. d'Espagnat /5/, pag. 55.)

---

[13] „Voi numi 'realism apropiat' (*realisme proche*) orice reprezentare asupra lumii în care toate elementele realităţii sînt presupuse a fi descrise în mod adecvat prin noţiuni care ne sînt apropiate şi familiare." (D. d'Espagnat /5/, pag. 92.)

D'Espagnat consideră „filosofia experienței“, pe care o înfățișează ca o filosofie de inspirație pozitivistă [14], ca fiind în principiu inacceptabilă pentru fizician. „Încă o dată, mulți dintre acești specialiști (și pentru a înlătura orice echivoc precizez, de la început, că fac parte dintre ei) sînt în străfundul ființei lor niște realiști. Ei refuză să reducă, cu Paul Valéry, știința la 'ansamblul rețetelor care reușesc întotdeauna'. Ei gîndesc că infailibilitatea unei rețete trebuie să aibă o cauză, și ei atribuie aceste succese, veșnic reînnoite, existenței unei realități independente, structurate, ale cărei structuri ar avea drept consecință tocmai că rețeta trebuie să reușească. În viziunea realistă, principalul interes pe care îl prezintă descoperirea unei rețete care reușește constă, bineînțeles, în faptul că ne instruiește — cel puțin așa sperăm — asupra structurilor realității independente.“ (B. d'Espagnat /5/, pag. 15.) Pe scurt, existența unei realități fizice „independente“ poate explica existența regularităților în fenomenele observate, care rămîne neexplicată pentru cei ce se situează pe pozițiile „filosofiei experienței".

---

[14] „Totuși, dacă ideile lui Bohr sînt considerate în esența lor, ele sînt susceptibile de obiecții asemănătoare celor aduse refugiului în pozitivism ... se poate spune că Bohr nu a fost un realist sau, cel puțin, nu unul consecvent.“ (B. d'Espagnat /4/, pag. 178.)

Confruntarea dintre aceste două poziții filosofice fundamentale apare cu multă claritate în discuțiile dintre Einstein și Bohr în legătură cu E.R.P. Einstein insistă asupra faptului că este posibilă o interpretare realistă a fizicii atomice care să nu introducă termeni ca *măsurare* sau *rezultat al unei observații date*. Evoluțiile recente ne oferă o nouă perspectivă asupra acestei dispute. Reprezentarea lui Einstein asupra fundamentelor fizicii cuantice, consideră d'Espagnat, se întemeia pe trei premise care ar putea fi formulate în felul următor : 1) principiul realismului, 2) postulatul inducției, adică presupunerea că inferența inductivă este un demers valid, astfel încît concluzii legitime pot fi derivate din observații consistente și 3) principiul separabilității. Aceste trei premise, care au fost considerate de Einstein drept adevăruri evidente, indiscutabile, formează baza a ceea ce fizicianul francez numește „teorii realiste locale ale naturii" *(local realistic theories of nature).* (Vezi B. d'Espagnat /4/, pag. 158.) Rezultatul cel mai important al cercetărilor teoretice și al experimentelor realizate recent a fost infirmarea acestor teorii. Nu putem explica aceste rezultate, acceptate astăzi de specialiști, decît presupunînd că cel puțin una din cele trei premise s-a dovedit greșită. Dintre ele, realismul este apreciat de d'Espagnat drept o premisă inalienabilă, iar postulatul inducției este strîns legat de cel al realismului. (Vezi B. d'Espagnat /4/, pag. 177.) Rezultă că sîntem oarecum constrînși să renunțăm la principiul separabilității, acceptînd acțiuni fizice instantanee la distanță. Cum se exprimă în mod foarte instructiv d'Espagnat, pentru fizicianul realist nu există altă alternativă ; verdictul experienței este fatal principiului atît de evident, familiar și adînc înrădăcinat al separabilității. Asocierea principiului separabilității și a realismului (obiectivității puternice) în fizica microcosmului — la care a năzuit Einstein — s-a dovedit imposibilă. Sîntem obligați să admitem că experimentele au infirmat principiul separabilității, atît timp cît nu sîntem dispuși să abandonăm ceea ce d'Espagnat numește „obiectivitatea puternică". Experimentele care au infirmat „teoriile realiste locale ale naturii" probează, după d'Espagnat, că în măsura în care conceptul unei realităţi „independente“ are un sens, aceasta trebuie să fie o realitate nonseparabilă.

Concluziile analizei lui d'Espagnat asupra semnificaţiei filosofice a testării consecinţelor derivate din teorema lui Bell converg în mod remarcabil cu cele ale analizei lui Shimony. Căci pentru d'Espagnat nu există, evident, decît două concepţii compatibile cu noile rezultate experimentale: „filosofia experienţei“ sau un realism foarte deosebit nu numai de realismul imaginilor concrete ale fizicii tradiţionale, ci şi de realismul lui Einstein, întemeiat pe principiul separabilităţii. Renunţarea la un principiu atît de fundamental al cunoaşterii fizice cum este principiul separabilităţii nu poate fi explicată decît fie ca o etapă nouă în procesul acomodării continue a conceptelor şi ideilor noastre la datele noi ale experienţei, fie pornind de la supoziţia că realitatea fizică se află la o distanţă şi mai mare de experienţa comună decît au presupus pînă acum cei mai îndrăzneţi teoreticieni. Ca şi Shimony, d'Espagnat crede că cercetarea fizică ar trebui să se lase condusă şi de acum înainte de o viziune realistă, dar de un realism tot mai îndepărtat de intuiţiile şi obişnuinţele de gîndire curente, din simplul motiv că cealaltă alternativă, „filosofia experienţei“, implică o renunţare care este inacceptabilă din punct de vedere filosofic[15].

Nu discut cît de fidelă este caracterizarea pe care o dă d'Espagnat punctului de vedere al „filosofiei experienţei“, a cărui versiune rafinată şi influentă este reprezentată, pentru el, de şcoala de la Copenhaga. Esenţial rămîne faptul că pentru d'Espagnat „realismul“ este o opţiune filosofică ireductibilă. Nici o experienţă nu pare în măsură să impună o renunţare la „realism“, ca exigenţă generală a descrierii fizice. Angajarea lui d'Espagnat faţă de această exigenţă metateoretică este tot atît de necondiţionată, de absolută, ca şi angajarea lui de Broglie faţă de o fizică a imaginilor concrete și a lui Einstein față de principiul acțiunii din aproape în aproape, care interzice „acțiuni fantomatice la distanță“. El crede — și nu ne putem imagina cel puțin astăzi fapte sau rezultate fizice care ar putea răsturna o asemenea credință — că teoreticienii vor avea întotdeauna posibilitatea de a explica noile date ale experienței procedînd la restructurări tot mai profunde ale ideilor noastre despre lumea fizică, care vor îndepărta tot mai mult cadrele conceptuale ale imaginii fizice a lumii de categoriile gîndirii comune. Teoreticianul poate greși întotdeauna dînd curs tentației de a institui conceptele și principiile ce stau la baza descrierii sale structurale ca „elemente ale realității fizice“, de a lega prea strîns „realul“ cu fenomenele. Căci orice tablou fizic al lumii se dovedește doar o aproximație mai mult sau mai puțin îndepărtată a realității fizice. Aceasta din urmă este limita ideală, niciodată atinsă, a cunoașterii fizice. Asemenea considerații, pe care d'Espagnat nu le-a formulat ca atare dar care pot fi socotite drept prelungiri firești ale reflecțiilor sale asupra „realismului îndepărtat“ [16], dezvăluie înrudirea strînsă a concepției sale cu cea a „realismului științific“ al lui Planck.

---

[15] „Dacă refuzul de a căuta cauze subiacente ale regularităţilor observate este aplicat în mod consecvent, întreaga întreprindere ştiinţifică va fi banalizată. Ştiinţa este redusă la o mulţime de reţete pentru prevederea observaţiilor viitoare pe baza cunoaşterii trecutului. Orice motivare a ştiinţei ca 'cercetare a naturii' este imposibilă; natura este o fantomă. Putem să ne imaginăm o fizică întemeiată pe principii pozitiviste care ar prezice toate corelaţiile posibile ale evenimentelor şi ar lăsa, totuşi, lumea total neînţeleasă.“ (B. d'Espagnat /4/, pag. 177.)

Chiar istoria interpretărilor realiste ale mecanicii cuantice apare, din această perspectivă, ca istoria corectării continue a reprezentărilor noastre despre trăsăturile fundamentale ale realității fizice pe care urmărește să le descrie teoria. Astfel, realismul lui de Broglie este prin excelență un realism al imaginilor concrete și al conceptelor familiare, realismul lui Einstein este un realism al descrierii matematice extrem de abstracte a proprietăților cîmpului fizic unitar [17], iar realismul lui d'Espagnat și Shimony este un realism al unei lumi fizice în care interacțiunile se propagă instantaneu și sisteme fizice distanțate în spațiu pot să nu mai fie

---

[16] D'Espagnat scrie, de exemplu, că „este prudent de a postula *a priori* numai conceptul unei realități „independente“, și nu determinările ei cele mai fundamentale“. (Vezi B. d'Espagnat /5/, pag. 70.)

[17] „Poziția lui Einstein față de problema cuantică — aprecia recent un cunoscut istoric al fizicii cuantelor — a fost mai radicală decît cea a susținătorilor teoriei ortodoxe. Căci el era gata să înlocuiască conceptele clasice cu concepții principial noi, pentru a cuprinde materialul faptic, fără a renunța la cerința realității.“ (M. Jammer /3/, pag. 164.)

„separate". Principiul „realismului" — teoria fizică vizează descrierea caracteristicilor microsistemelor fizice așa cum sînt ele, independent de interacțiunile fizice pe care le presupune observarea și măsurarea lor — se menține nealterat, în timp ce alte exigențe, socotite tot așa de fundamentale, exigența descrierii prin imagini concrete și concepte fizice familiare sau principiul separabilității, sînt abandonate.

Ce așteptări și ce orientări implică o asemenea angajare filosofică pentru dezvoltarea viitoare a cunoașterii fizice ? D'Espagnat vede această dezvoltare pornind de la teoria actuală a cîmpurilor cuantice în direcția unei teorii viitoare, cu principii tot mai abstracte, mai neintuitive, care va permite o interpretare realistă a mecanicii cuantice. El apreciază că dincolo de uriașe dificultăți de ordin tehnic ale acestei viziuni „grandioase" și „dificile", ea va avea de învins, pentru a da roade, și împotrivirea fizicienilor înclinați să adopte un punct de vedere apropiat „filosofiei experienței". Succesele unei asemenea teorii ar însemna o realizare fără precedent în măsura în care ar fi echivalente cu o reabilitare a conceptului unei realități „independente" și, totodată, cu unificarea pe baze noi a cunoașterii fizice. (Vezi B. d'Espagnat /5/, pag. 78—83.) Să recunoaștem că nimeni nu poate dovedi deșertăciunea unei asemenea speranțe. Cele două filosofii consacrate ale fizicii — realismul în sensul lui d'Espagnat și Shimony, și ceea ce ei numesc „filosofia experienței" și respectiv „concepția nonontologică" — conturează două perspective coerente asupra istoriei dezvoltării fizicii cuantelor și generează, totodată, două opțiuni strategice ale cercetării. Și pentru a invoca din nou exprimarea atît de semnificativă a lui Shimony, nu știm astăzi care dintre aceste opțiuni este cea „corectă". Verdictul aparține viitorului.

Capitolul VII

Epilog. O critică filosofică a ipotezei cuarcilor

> „Reprezentarea democritiană asupra atomului a fost o parte integrantă a imaginii materialiste despre lume a fizicianului din ultimele secole ; ea era uşor de înţeles, într-o anumită măsură intuitivă, şi determina gîndirea fizică, chiar la fizicienii care nu voiau să aibă nimic de a face cu filosofia. În acest punct, aş dori să-mi întemeiez reproşul că astăzi, în fizica particulelor elementare, o fizică bună este stricată în mod inconştient de o filosofie proastă.“
>
> *W. HEISENBERG* (1975)

Cunoştinţele asupra structurii substanţei materiale s-au dezvoltat în mod exploziv sub influenţa conjugată a progreselor fizicii teoretice şi a tehnicii experimentale, îndeosebi a tehnicii energiilor înalte. Studiul experimental al structurii atomului a început de mai bine de şaptezeci de ani. În 1911, doi colaboratori ai lui E. Rutherford, H. Geiger şi E. Mardsen, au realizat în laboratoarele Universităţii din Manchester un experiment care a devenit celebru. Bombardînd cu un fascicul de particule alfa o foiţă subţire de aur, ei au constatat că un număr mic de particule au fost deviate în unghiuri pînă la 90 de grade. Explicaţia dată de Rutherford acestor fapte, explicaţie care mi se pare exemplară pentru ceea ce înseamnă interpretarea unui experiment în fizica atomică, a fost că atomul conţine un sîmbure tare, format din elemente cu sarcină electrică pozitivă — nucleul — care ocupă o porţiune infimă din volumul său total. Această ipoteză, care dădea socoteală de faptul că cea mai mare parte a particulelor alfa străbat foiţa de aur, formată din atomi, fără nici o deviere a traiectoriei lor, în timp ce unele dintre ele prezintă devieri pronunţate ale acestei traiectorii, a fost confirmată în mod strălucit. Cercetări experimentale ulterioare au dus la concluzia că nucleul este format din două tipuri de particule, protonii, cu sarcină electrică pozitivă, şi neutronii, care, aşa cum indică şi numele ce li s-a dat, sînt neutri din punct de vedere electric. În jurul anului 1930 se ajunsese la o imagine simplă, intuitivă, asupra structurii atomului, care explica toate faptele cunoscute pe atunci : atomul constă dintr-un înveliş electronic şi un nucleu, compus din protoni şi neutroni. Electronii, protonii şi neutronii erau socotiţi particule elementare, lipsite de structură, altfel spus, constituenţi ultimi ai substanţei materiale.

Această reprezentare, care părea să ofere un răspuns final, pe deplin satisfăcător, la problema tradiţională a structurii materiei, a fost răsturnată însă de progresele fizicii experimentale. În 1952, E. Fermi şi colaboratorii săi, acţionînd asupra nucleului cu particule accelerate la energii de sute de milioane electronvolţi au inaugurat o nouă eră în evoluţia cunoştinţelor noastre asupra structurii substanţei, era fizicii nucleare. Fizica nucleară s-a dezvoltat pe baza unor experimente asemănătoare în anumite privinţe cu cele realizate la începutul secolului de Rutherford şi colaboratorii săi. Se acţionează asupra nucleului cu diferite particule (electroni, neutroni, protoni), accelerate la energii uriaşe, şi instrumentele măsoară unghiurile în care sînt împrăştiate fragmentele rezultate din ciocnire, energia, momentul şi sarcina lor electrică. S-a constatat că fragmentele rezultate nu se propagă întîmplător, în toate direcţiile, ci în direcţii determinate, care corespund unor unghiuri de deviere determinate. Interpretînd rezultatele măsurătorilor, fizicienii au ajuns la concluzia că prin asemenea ciocniri sînt generate un număr mare de particule şi antiparticule, necunoscute pînă atunci, dintre care cele mai multe au o durată de viaţă foarte scurtă. Imaginea fizică a structurii substanţei materiale s-a complicat şi a devenit neclară. S-a stabilit că, spre deosebire de electroni, nucleonii (elementele constitutive ale nucleului) nu sînt particule punctuale. Diametrul protonului este apreciat, de exemplu, ca fiind de 10 cm^{-13}. Experimente mai recente au condus la concluzia, astăzi larg acceptată, că şi nucleonii au structură internă. La acceleratorul de particule de la Stanford a fost realizat, pentru prima dată, în 1970, un experiment în care electroni accelerați cu o energie de 20 de bilioane de electronvolți au lovit protoni și neutroni. Cei mai mulți electroni au trecut prin țintă fără cea mai mică schimbare de direcție, dar numărul jeturilor de particule împrăștiate sau deviate a fost mult mai mare decît cel previzibil, dacă pornim de la presupunerea că protonul este omogen. Calculîndu-se numărul particulelor împrăștiate în unghiuri mari și unghiurile de împrăștiere, s-a formulat presupunerea că protonii sînt constituiți din elemente discrete al căror diametru nu este mai mare decît a cincizecea parte din diametrul protonului. Aceste particule au fost numite, la propunerea cunoscutului fizician R. P. Feynman, *partoni*. Alte experimente cu fluxuri de muoni (particule cu o masă de 200 de ori mai mare decît a electronilor) și cu fluxuri de neutrino [1], precum și experimente de coliziune între protoni, realizate începînd din 1972 la marele accelerator de particule de la Geneva (C.E.R.N.), au dat rezultate convergente. Mulți fizicieni consideră astăzi existența unei structuri interne a nucleonilor ca fiind probată experimental, conducîndu-se după un raționament asemănător cu cel care l-a dus pe Rutherford la descoperirea structurii nucleului. (Vezi M. Jacob, P. Landshoff, pag. 67—68.) S-a deschis astfel un capitol nou al fizicii atomice, fizica particulelor elementare.

Anterior acestor descoperiri experimentale și independent de ele, ipoteza existenței unor constituenți mai elementari ai substanței materiale a fost elaborată pe cale teoretică pentru a explica marea varietate de particule din familia *hadronilor* [2]. În 1963, fizicienii americani M. Gell-Man și G. Zweig au formulat, în mod independent unul de altul, ipoteza că proprietățile tuturor hadronilor cunoscuți ar putea fi explicate prin combinația unor particule mai fundamentale, pe care primul le-a numit *cuarci (quarks)*. Pe baza unor considerații teoretice, Gell-Man a caracterizat cuarcii drept particule care au o sarcină egală cu 1/3 sau 2/3 din sarcina electronului. Forțele ce se exercită între cuarci și asigură stabilitatea hadronilor sînt legate de particule virtuale numite *gluoni* care posedă impuls dar nu și sarcină electrică. Impulsul total al nucleonului se constituie din suma impulsurilor cuarcilor și gluonilor. Potrivit ipotezei lui Gell-Man, unii hadroni sînt formați din mai mulți cuarci, alții dintr-un cuarc și un anticuarc.

---

[1] Electronii, muonii și neutrino fac parte din familia de particule elementare numite *leptoni*. Aceste particule sînt considerate lipsite de structură și, prin urmare, ca particule ideale pentru cercetarea experimentală a structurii nucleonilor.

[2] Termenul desemnează particule ca protonii, neutronii, pionii, care sînt legate în nucleu prin interacțiunile numite *tari*. Astăzi se cunosc numai 6 leptoni, dar se admite în schimb existența a cîtorva sute de hadroni. De aceea, mulți fizicieni au fost înclinați să creadă că leptonii sînt elemente mai fundamentale decît hadronii și că aceștia din urmă au constituenți mai elementari. (Vezi H. Fritzsch /1/, pag. 81.)

După ce au fost realizate experimentele amintite mai sus, interpretate de mulți specialiști ca o dovadă că nucleonii, în particular protonul, au o structură internă, s-a manifestat în mod firesc tendința de a identifica partonii cu cuarcii. (Vezi M. Jacob, P. Landshoff, pag. 68—69.) Se pare că aceste experimente au favorizat o schimbare de atitudine a fizicienilor teoreticieni față de ipoteza cuarcilor, care nu s-a bucurat, la început, de o primire prea favorabilă. Astăzi susținătorii ipotezei afirmă că asemenea experimente permit o observare „indirectă“ a cuarcilor și susțin că „ideea lui Gell-Man și Zweig s-a transformat dintr-o ipoteză îndrăzneață, riscantă, în teoria modernă a hadronilor“. (Vezi H. Fritzsch, pag. 82.)

Teoria cuarcilor este privită cu optimism de mulți specialiști. Astfel, Gell-Man aprecia într-un text publicat în 1979 că ipoteza cuarcilor „a fost confirmată de un mare număr de experimente și de o mare cantitate de muncă teoretică“. (Vezi M. Gell-Man, pag. 31.) Într-un articol de sinteză autorizat, apărut cu un an mai tîrziu, se spune : „Existența mai multor sute de hadroni, care corespund combinațiilor permise între cuarci, și faptul că nu a putut fi observat fie și un singur hadron care nu poate fi explicat printr-o asemenea combinație reprezintă o dovadă puternică pentru modelul cuarcilor.“ (M. Jacob, P. Landshoff, pag. 69.) Se pot cita și alte aprecieri asemănătoare, mai ales ca ripostă la afirmația unor autori că teoria particulelor elementare s-ar afla astăzi într-o stare de criză. (Pentru asemenea susținere, vezi R. E. Hendrick, A. Murphy, pag. 455—456.) Desigur că cea mai puternică probă a existenței cuarcilor ar fi izolarea lor experimentală. Pînă în prezent aceasta nu a reușit însă. Produsele bombardării hadronilor cu particule accelerate la energii foarte mari au fost, întotdeauna, tot hadroni obișnuiți. Această situație oarecum neașteptată [3] a primit diferite explicații. Gell-Man susține că la distanțe mai mari de 10 cm^{-13}, adică atunci cînd se depășește diametrul protonului, forțele de atracție între cuarci nu scad odată cu creșterea distanței dintre ele ; de aceea, cuarcii rămîn întotdeauna prizonieri în interiorul nucleonilor. „Vînătoarea după cuarci“ întreprinsă de experimentator, ar fi, prin urmare, lipsită de perspective. (Vezi M. Gell-Man, pag. 36 și urm.) [4] Alți specialiști speră totuși că la energii mult mai mari decît cele disponibile astăzi s-ar putea realiza, eventual, experimente care să elibereze cuarcii ; aceasta este una din speranțele ce se leagă de construcția unor acceleratoare de particule mult mai puternice decît cele care funcționează astăzi.

Se discută de asemenea dacă cuarcii sînt sau nu, spre deosebire de hadroni, particule elementare în sensul strict al cuvîntului. Și în această privință, părerile teoreticienilor sînt destul de diferite. Deși este de acord că o lungă experiență istorică pare să ne indice că și cuarcii, ca și alte particule considerate la un moment dat drept constituenți ultimi ai substanței materiale, s-ar putea dovedi, în cele din urmă, sisteme cu structură internă, Gell-Man crede totuși, pe temeiul unor considerații de ordin matematic, că „nu aceasta este calea aleasă de natură“. (Vezi M. Gell-Man, pag. 45.) Alți specialiști aduc argumente de ordin experimental în favoarea „elementarității“ cuarcilor. Ei consideră că există un acord în comunitatea fizicienilor asupra criteriilor ce disting particulele lipsite de structură, numite și *fundamentale*, de particulele compuse, constituite din alte particule. O particulă este fundamentală dacă nu manifestă structură în experiențe de împrăștiere. Potrivit acestui criteriu, hadronii nu sînt particule elementare, în timp ce cuarcii pot fi calificaţi particule fundamentale, ca şi leptonii şi fotonii. (Vezi R. E. Hendrick, A. Murphy, pag. 457 şi pag. 461.) Feynman lasă problema deschisă, sugerînd însă că strategia atomistă, folosită cu atîta succes pînă acum, de a explica elementele constitutive ale substanţei, identificate experimental la un moment dat, prin elemente mai simple, la alt nivel, mai profund, s-ar putea să aibă şi de data aceasta succes. Dacă numărul cuarcilor şi al gluonilor va creşte rapid, fizicienii îşi vor pune problema explicării acestei diversităţi şi este posibil, crede el, ca cercetătorii din generaţia următoare să descopere că ei sînt compuşi din elemente mai simple aparţinînd unui nou nivel, mai profund, al structurii substanţei materiale. (Vezi R. Feynman /2/, pag. 610.) H. Fritzsch, un alt cercetător de vîrf al domeniului, adoptă de asemenea o atitudine prudentă, de expectativă. El oferă o caracterizare a alternativei care este, cred, deosebit de semnificativă pentru punctul de vedere al fizicienilor care abordează problematica structurii materiei dintr-o perspectivă atomistă. Raţionamentele sale despre evoluţiile posibile ale fizicii teoretice, raţionamente care reflectă bine modul cum vede lucrurile astăzi majoritatea specialiştilor, pornesc de la următorul tablou de ansamblu : atomii sînt formaţi din nucleu şi electroni ; nucleul este format din neutroni şi protoni, iar neutronii şi protonii sînt formaţi din cuarci. Cuarcii ne apar, deci, astăzi, ca elemente constitutive fundamentale ale substanţei materiale. Cum vor evolua însă mai departe lucrurile ? O primă posibilitate este să se determine că şi cuarcii, la rîndul lor, sînt compuşi din alte particule, pentru care au fost propuse deja diferite denumiri : subcuarci, peroni, stratoni, haploni etc. În acest caz ar deveni plauzibilă presupunerea că structura substanţei este de o complexitate inepuizabilă, că năzuinţa de a cunoaşte particulele cu adevărat fundamentale, constituenţii ultimi ai lumii materiale, ne antrenează pe un drum al cărui capăt nu poate fi întrevăzut. Există numeroase obiecţii împotriva acestei posibilităţi. (Vezi H. Fritzsch, pag. 299.) A doua posibilitate este că leptonii şi cuarcii sînt particule elementare în sensul strict al cuvîntului. Dacă această idee se va confirma, fizicienii s-ar putea socoti îndreptăţiţi să creadă că se află în pragul elaborării unei teorii definitive a fizicii.

---

[3] „Dacă considerăm hadronii în mod naiv, am putea să ne închipuim că structura ... nucleonilor nu este prea diferită de structura nucleelor atomice. În acest caz, ar fi relativ ușor să scoatem un cuarc dintr-un nucleon, tot așa cum s-a reușit, cu un consum de energie relativ mai mic, expulzarea unui nucleon din nucleul atomic.“ (H. Fritzsch, pag. 93.)

[4] Pentru alte explicații, vezi și K. S. Shrader-Frechette /2/, pag. 304—306.

O asemenea teorie, care ar trebui să explice numărul leptonilor şi cuarcilor, toate proprietăţile lor, ca şi ale altor constituenţi mai complecşi ai lumii fizice, ar reprezenta sinteza mult visată, înfăptuirea idealului unificării fizicii pe baze atomiste. Ca şi alţi specialişti, Fritzsch socoate că astăzi trebuie să rămînem receptivi faţă de ambele posibilităţi. Dezvoltarea pe mai departe a bazei experimentale, prin construirea unor acceleratoare de particule cu posibilităţi tot mai mari, se impune pentru a asigura clarificarea și controlul ideilor actuale și pentru a permite o mai bună orientare a cercetărilor teoretice. (Vezi H. Fritzsch, pag. 303 și 309—310.)

Nu este greu de remarcat că aceste două linii posibile de dezvoltare se desprind pe baza unui fond de idei și supoziții fundamentale comune. Se speră că problemele fizicii teoretice vor putea fi rezolvate, mai repede sau mai tîrziu, pe baza unei teorii unitare a particulelor elementare. Conceptul de particulă elementară apare drept conceptul fundamental al unei teorii unificatoare asupra structurii materiei. Aceasta este abordarea sau strategia *atomistă*, adoptată conștient sau inconştient, ca bază a muncii lor, de majoritatea specialiştilor. Există, este adevărat, și fizicieni mai puţin optimişti, care cred că astăzi teoria particulelor elementare nu răspunde la probleme importante, că insuficiențele în elaborarea și clarificarea conceptelor de bază ale domeniului nu vor putea fi depăşite doar prin dezvoltarea mai departe a bazei experimentale. Ceea ce se cere este mai degrabă o schimbare de perspectivă, noi idei teoretice. (Vezi K. S. Shrader-Frechette /1/ și R. Conradt.) Multe din aceste luări de poziţie, care exprimă sentimentele de insatisfacție ale unor fizicieni față de starea actuală a teoriei particulelor elementare, nu sînt totuși deosebit de semnificative din punct de vedere filosofic, în măsura în care se opresc la sugestia că ceva nu e în regulă în fundamentele teoriei sau lasă să se înţeleagă că marile promisiuni teoretice şi practice prin care se motivează investițiile în acest sector al cercetării[5] nu sînt de fapt bine justificate[6].

---

[5] Mai mult de o treime din fondurile alocate în S.U.A. în ultimii ani pentru cercetări fizice fundamentale, au revenit fizicii particulelor elementare.

[6] Iată două pasaje dintr-un amuzant dialog între un filosof și un specialist în teoria particulelor elementare, imaginat de un fizician, în care ies la iveală asemenea obiecţii : „*Filosof*...

Alternativa la abordarea sau strategia atomistă a fost propusă de Heisenberg în a doua parte a carierei sale ştiinţifice. Această alternativă a constituit baza unei critici radicale a ipotezei cuarcilor, formulată în unele din ultimele sale scrieri. Critica lui Heisenberg este cu totul de alt tip decît cea a multor specialişti care au unele îndoieli şi rezerve cu privire la caracterul satisfăcător al teoriei actuale a particulelor elementare. Celebrul fizician nu discută răspunsurile, soluţiile, nu denunţă pur şi simplu neîmplinirea unor promisiuni, ci pune la îndoială chiar sensul obiectivelor şi al întrebărilor pe care le propun astăzi cercetătorii domeniului, premisele latente, tacite ale abordării pe care am numit-o *atomistă*. Deşi aduce adesea în prim plan argumente tehnice, în primul rînd experimente, baza generală a criticii lui Heisenberg este pronunţat filosofică[7]. Iar programul de cercetare pe care el îl opune strategiei atomiste de care se lasă conduşi astăzi specialiştii în fizica particulelor elementare izvorăşte dintr-o viziune filosofică generală

Părţi ale unei particule elementare, există oare aşa ceva ? Putem despărţi particulele unele de celelalte ? *Fizician.* Nu. Există însă oameni care speră să le despartă odată sau să găsească astfel de componente mai elementare. Alţii cred că acest lucru nu este posibil. *Filosof.* Şi pentru aceste particule, tot mai mici, construiţi maşini tot mai mari ? *Fizician.* Da. Căci s-a dovedit întotdeauna, pînă acum, că particulele elementare se transformă, cu ocazia coliziunilor, în altele noi, dar nu se descompun în componentele lor. Se presupune deci că ele trebuie să fie ciocnite unele de altele cu şi mai multă putere pentru a putea fi descompuse în părţile lor componente. *Filosof.* Şi cît timp veţi continua acest joc ? *Fizician.* Cît timp vom primi bani sau pînă cînd vom avea succes". [...] „*Filosof.* Impresia mea este că încercaţi să adaptaţi faptele aşteptărilor voastre teoretice, în loc de a dezvolta o teorie raţională pentru rezultatele experimentelor cunoscute... *Fizician.* Cred că trebuie să te clarific într-o chestiune de principiu. Vorbeşti tot timpul că noi încercăm să *explicăm* electronul. Noi nu intenţionăm să facem aşa ceva. Noi nu dorim să explicăm, noi dorim să *descriem* pur şi simplu comportarea lui şi a celorlalte particule. Şi pentru aceasta căutăm ecuaţii." (R. Conradt, pag. 120 şi pag. 126.)

[7] În textele lui Heisenberg întîlnim uneori indicaţii clare în acest sens. În cea mai amplă din intervenţiile lui pe această temă, apărută abia la cîteva săptămîni înaintea morţii sale, Heisenberg scria : „Căci cred că anumite dezvoltări în direcţie greşită în teoria particulelor elementare — şi mi-e teamă că asemenea dezvoltării există — sînt condiţionate de faptul că iniţiatorii lor ar afirma că nu se interesează de filosofie, dar pleacă în realitate de la o filosofie proastă şi ajung astfel, prin prejudecăţi, la întrebări iraţionale." (W. Heisenberg, pag. 76.)

asupra căilor de dezvoltare a cunoaşterii fizice, inspirată în primul rînd de interpretarea pe care Heisenberg a dat-o mecanicii cuantice.

Liniile mari ale acestui program şi îndeosebi supoziţiile sale filosofice de bază pot fi desprinse destul de clar deja dintr-un cunoscut articol, scris de Heisenberg la sfîrşitul deceniului al şaselea, cu privire la însemnătatea principială a descoperirii lui Planck pentru dezvoltarea fizicii atomice. Aici Heisenberg schiţează unele din premisele filosofice care au inspirat şi susţinut proiectul său ştiinţific fundamental de derivare a proprietăţilor particulelor elementare din ecuaţiile unei teorii unitare a cîmpului, aşa-numita „ecuaţie a lumii“ *(Weltformel).* Acest proiect se aseamănă în ceea ce priveşte obiectivele sale generale cu cel preconizat de Einstein, încă din deceniul al treilea. Ţelul urmărit constă în deducerea pe cale matematică a particulelor elementare şi a formaţiunilor atomare mai complexe, şi, indirect, a raporturilor fizice ale lumii în general, din ecuaţii care descriu proprietăţile unui substrat continuu, ale cîmpului material. (Vezi W. Heisenberg /6/, pag. 20)[8].

Heisenberg a caracterizat supoziţiile filosofice ale strategiei adoptate în mod obişnuit de fizicienii atomişti şi ale propriei lui strategii de unificare a fizicii cu referire la tradiţia filosofică. El a denumit punctul de vedere curent *democritian,* iar punctul său de vedere *platonic.* Nu este inutil să prevenim împotriva unei înţelegeri greşite a acestor denumiri. Mai întîi, Heisenberg nu are în vedere reactualizarea, pur şi simplu, a concepţiilor despre natură ale lui Democrit şi Platon, ci conturarea a două puncte de vedere fundamentale asupra căilor explicării naturii care pot fi degajate prin considerarea, din perspectivă contemporană, a teoriilor celor doi filosofi greci[9]. În al doilea rînd, opoziţia dintre abordarea democritiană și platonică nu este, pentru Heisenberg, cea dintre ontologia materialistă și ontologia idealistă. Este adevărat că Heisenberg afirmase nu o dată că realitatea fundamentală este, în concepția lui, energia, și nu materia. El utilizează însă cuvintele *materie* și *energie* în accepții determinate, pentru a desemna substanța discontinuă, formată din particule și, respectiv, un substrat continuu, cîmpul material. Cel din urmă posedă realitate obiectivă în aceeași măsură ca și particulele materiale și corpurile formate din particule elementare [10]. Tocmai în acest sens vorbește Heisenberg de transformarea *energiei* în *materie*, și invers, de crearea unor noi particule din energia eliberată prin coliziunea particulelor și de anihilarea particulelor elementare cu durată de viață scurtă. *Energia* este deci substratul general al particulelor elementare. „Energia devine materie prin aceea că ea se transpune în forma unei particule elementare, prin aceea că se manifestă în această formă. Aici avem un ecou al relației dintre Formă și Materie, care a jucat un rol atît de central în filozofia lui Aristotel." (W. Heisenberg /6/, pag. 28—29.) Ceea ce vizează Heisenberg prin referirile lui la filosofiile lui Democrit și Platon sînt două modele sau structuri explicative fundamentale, care pot inspira strategii de cercetare distincte în fizica particulelor elementare. Teoreticianul democritian vede explicația ca fiind, în esență, reducerea a ceva mai complicat la ceva mai simplu. Motivul democritian este explicarea fenomenelor fizice pe baza conceptului de particulă, opus ideii primordialității continuului. Proprietățile particulelor materiale și legile naturii, în general, vor putea primi o explicație pe deplin satisfăcătoare atunci cînd vom cunoaște particulele cu adevărat elementare și proprietățile lor. Altfel spus, cheia unei „teorii definitive" a materiei este determinarea constituenților ultimi ai structurii substanței. Pentru fizicienii care socoteau leptonii și cuarcii drept formații cu adevărat elementare, „sfîrșitul străzii poate fi deja întrezărit și întrebarea principală este doar cît timp mai trebuie să treacă pentru a atinge acest punct terminus". (Vezi H. Fritzsch, pag. 301.) În opoziție cu teoreticianul democritian, teoreticianul platonic, pe care îl întruchipează Heisenberg, nu consideră particulele și proprietățile lor ca bază ultimă a explicației fizice[11]. O explicație fizică satisfăcătoare trebuie să determine de ce există tocmai particulele elementare găsite experimental, de ce au ele caracteristicile observate, care sînt acele legi ale naturii care ne permit să derivăm, drept consecințe, masele și sarcinile lor, forțele de interacțiune dintre ele. (Vezi W. Heisenberg /6/, pag. 27.) Heisenberg nu a fost de acord cu punctul de vedere al celor mai mulți fizicieni contemporani care făceau din noțiunea de particulă elementară punctul de referință fundamental al explicației fizice. Singura cale care ne-ar putea conduce spre o teorie definitivă a materiei este, pentru fizicianul german, elaborarea unei teorii unitare a cîmpului în cadrul căreia să devină posibilă deducerea proprietăților particulelor elementare din proprietățile de simetrie ale ecuațiilor ei. Acest ideal explicativ a fost reafirmat și precizat de Heisenberg, în scrieri din anii '70, ca exigență fundamentală și inalienabilă a unui program fertil de cercetare în fizica particulelor elementare. Subliniind că susține mai departe ideea de bază a teoriei sale unitare din 1958, explicarea particulelor pe baza proprietăților de simetrie matematică ale ecuațiilor cîmpului, Heisenberg o caracterizează drept „condiția indispensabilă pentru a înțelege spectrul particulelor elementare. Orice altceva nu este o înțelegere ; nu este mai mult decît stabilirea unei tabele a particulelor (așa-numita *„Super-Review of Particle Proprieties“* — M.F.), și cu aceasta nu putem, cel puțin ca teoreticieni, să ne declarăm mulțumiți". (W. Heisenberg /15/, pag. 84.) Raportarea la acest ideal explicativ, atît de clar și categoric exprimat, ne oferă posibilitatea să înțelegem mai bine nu numai încrederea de neclintit pe care a manifestat-o Heisenberg, pînă la sfîrșitul vieții, în programul său de cercetare, în ciuda izolării sale evidente, ci și critica sa intransigentă îndreptată împotriva orientării *atomiste* dominante în teoria particulelor elementare, în particular a ipotezei cuarcilor, care revine continuu în ultimele sale lucrări.

---

[8] Dincolo de acest obiectiv general, deosebirile sînt însă esenţiale. Dacă Einstein a încercat unificarea fizicii pornind de la teoria generalizată a relativităţii, Heisenberg a propus, în anii '50, construirea unei teorii unitare a materiei, şi deci a particulelor elementare, pe terenul teoriei cuantice a cîmpului.

[9] Caracterizînd interesul cercetătorului naturii pentru modul de gîndire filosofic, Heisenberg nota că acesta are de învăţat înainte de toate ceva din modul cum au pus filosofii problemele şi abia, în al doilea rînd, din răspunsuri. „Punerea unei probleme în filosofie i se pare valoroasă (cercetătorului — M.F.), dacă ea a fecundat dezvoltarea gîndirii umane.“ (W. Heisenberg /6/, pag. 14.)

---

[10] Nu trebuie să ignorăm totuși că Heisenberg utilizează termenul *materialism* pentru concepțiile tradiționale care încearcă să explice natura pe baza unor elemente discrete (corpusculare) ireductibile, adică pe baza particulelor elementare în sensul strict al expresiei, ceea ce rezultă și din pasajul citat drept *motto* la începutul acestui capitol.

---

[11] „La Platon, particula elementară nu reprezintă pur și simplu datul, neschimbătorul și indivizibilul ; ea are nevoie, la rîndul ei, de o explicație, iar problema 'de ce'-ului particulelor elementare este redusă de Platon la matematică." (W. Heisenberg /6/, pag. 16.)

Heisenberg pretinde că această critică poate fi întemeiată pe argumente experimentale. După cum se știe, în experimentele de generare a unor noi particule, prin ciocnirea unor particule cu energie înaltă, se conservă energia, sarcina electrică și numărul particulelor. Un proton, de exemplu, poate fi generat dintr-un neutron și un pion, dintr-un λ-hiperon și un kaon sau din doi nucleoni și un antinucleon. Heisenberg crede că dacă considerăm aceste fapte experimentale din punctul de vedere al dinamicii relativiste, al principiului transformării energiei în substanță materială și invers, rezultă că, la acest nivel, distincția dintre particule elementare și particule compuse devine lipsită de sens. Singura explicație rațională a datelor experimentale acumulate în ultimele decenii ar fi că particulele numite elementare sînt stări staționare ale unei materii continue, analoage stărilor staționare ale unui atom sau molecule. Ca și stările staționare ale unui atom, particulele elementare au o durată de viață diferită. Stările fundamentale, particule ca electronul sau protonul, sînt stabile, au o durată de viață diferită. Stările fundamentale, particule ca electronul sau protonul, sînt stabile, au o durată de viață nelimitată. Dar aceste particule stabile nu sînt mai elementare decît cele instabile. (Vezi W. Heisenberg /14/, pag. 78—79.)

Heisenberg se exprimă într-un fel care sugerează că asemenea concluzii decurg în mod constrîngător din experimentele de generare și anihilare ale particulelor[12]. Este însă evident că lucrurile nu pot să stea așa. Dacă concluzia că nu există o deosebire între particule considerate elementare și, respectiv, compuse ar rezulta în mod necesar din datele experimentale general acceptate, faptul că fizicieni creatori de cea mai înaltă calificare construiesc ipoteze bazate tocmai pe această distincție, cum este ipoteza cuarcilor, ar fi de neînțeles. Aceeași apreciere este valabilă pentru numeroase afirmații de tipul celei că ipoteza cuarcilor „a fost confirmată de un mare număr de experimente și de o mare cantitate de muncă teoretică“ (M. Gell-Man, pag. 31) sau că existența unei structuri interne a protonilor a fost probată prin experimente care sînt aproape identice cu cele prin care Rutherford și elevii săi au pus în evidență existența nucleului. (Vezi M. Jacob, P. Landshoff)[13]. Căci dacă asemenea concluzii ar putea fi deduse din datele experimentale, ar însemna că numai un fizician incompetent sau de rea credință mai poate respinge astăzi, din capul locului, ipoteza cuarcilor. Nimeni nu poate crede că Heisenberg ar fi unul din aceştia !

---

[12] „Analogia între stările staționare ale unui atom sau ale unei molecule și particulele fizicii particulelor elementare este deci aproape completă și cu aceasta am dat, mi se pare, un răspuns complet din punct de vedere calitativ la întrebarea inițială 'ce este o particulă elementară ?' “ (W. Heisenberg /15/, pag. 82.)

Deşi critica heisenbergiană a ipotezei cuarcilor debutează cu argumente „experimentale“, dezvoltarea argumentării dezvăluie fără posibilitate de dubiu că sursa și sîmburele dezacordului sînt filosofice. Întrebarea „din ce constă o particulă ? “, precizează Heisenberg, este îndreptățită numai atît timp cît această particulă poate fi descompusă cu o cheltuială relativ mică de energie, mai precis atît timp cît masa de repaus a particulelor caracterizate ca fiind componentele ei este mult mai mare decît această cheltuială de energie. În cazul protonilor și al altor nucleoni, această întrebare este, prin urmare, lipsită de sens[14]. Fără îndoială că o asemenea concluzie se impune numai dacă acceptăm în prealabil anumite supoziții filosofice, care o întemeiază. Căci dacă lipsa de sens a întrebării nu ar decurge din supoziții adoptate prin opțiuni cu caracter „subiectiv“ — termenul desemnează în acest caz idei ce nu sînt obiective în sensul că nu pot fi controlate de standarde general recunoscute într-un grup științific disciplinar — nu ar fi desigur posibil ca fizicieni de cea mai înaltă calificare să-și concentreze atenția asupra unor probleme ce presupun în mod necesar legitimitatea întrebării, fără a se descalifica, în același timp, ca oameni de știință.

---

[13] Autorii afirmă că atunci cînd un neutrino cu energie înaltă intră în coliziune cu un proton el se ciocnește cu constituenții duri ai protonului, care sînt cuarcii. Cuarcii nu sînt totuși expulzați din protoni, și nu pot fi deci identificați experimental ; ei se combină cu anticuarcii și generează jeturi de hadroni. Este evident că aici e vorba de o interpretare a datelor experimentale propriu-zise, interpretare propusă și acceptată pe baza unei mari varietăți de premise suplimentare. În general, s-a remarcat că în fizica particulelor elementare lanțul care leagă observațiile făcute de experimentator cu concluziile pe care le trag teoreticienii din datele experimentale este tot mai lung și mai complicat. „Deși putem explica ce avem în vedere cînd spunem cum ’observăm’ multe particule, adeseori rezultatele experimentale pot fi interpretate în moduri diferite.“ (K. S. Shrader-Frechette /2/, pag. 306.)

[14] „După cum în relativitate conceptul ’simultaneitate’, sau în mecanica cuantică conceptele ’stare’ și ’viteză’ nu pot fi aplicate decît cu limitări caracteristice și își pierd sensul dacă sînt aplicate necritic, într-un loc nepotrivit, tot așa și conceptele ’divizării’ și ’a consta din’ nu sînt concepte bine definite decît în situații speciale. Numai atunci cînd o particulă poate fi divizată în două sau mai multe părți, a căror masă de repaus este foarte mare în comparație cu cantitatea de energie necesară pentru producerea diviziunii, se poate spune că par-

Între rezervele cu care sînt întîmpinate, de cele mai multe ori, ipotezele noi în știința teoretică a naturii, rezerve care s-au manifestat și față de ipoteza cuarcilor [15], și critica la care supune Heisenberg această ipoteză există, prin urmare, deosebiri care sar în ochi. Îndoielile și reținerile ce se manifestă în mod obișnuit privesc oportunitatea introducerii, în situația problematică dată, a unor noi concepte și idei fundamentale, precum și aprecierea măsurii în care noile idei satisfac condiții general recunoscute ale unei explicații științifice satisfăcătoare. Dimpotrivă, critica lui Heisenberg vizează supoziții de bază, de obicei tacite, ale unui mod de a concepe și înțelege natura, supoziții care implică și cerințe elementare pe care trebuie să le satisfacă o explicație

---

ticula constă din aceste părți și este divizată în aceste părți. În toate celelalte cazuri, cuvintele ’divizare’ sau ’a consta din’ nu mai au o semnificație bine definită. Ceea ce se întîmplă, de fapt, în cazul unei coliziuni de nivel energetic ridicat între două particule este producerea de noi particule din energia cinetică. Energia devine materie deoarece ia forma particulelor elementare. Dar distincția dintre particule ’elementare’ și ’compuse’ nu are, încă o dată, o semnificație bine determinată.“ (W. Heisenberg /13/, pag. 63—64.)

[15] V. F. Weisskopf, unul din marii fizicieni atomiști aparținînd generației mai vîrstnice, afirma relativ recent că nu este convins de existența cuarcilor, spunînd totodată că „speră să fie convins“, cu alte cuvinte, să fie produse rezultate care să înlăture obiecțiile sale. (Vezi V. F. Weisskopf /2/, pag. 24.) Este evident că Weisskopf nu pune în discuție *abordarea atomistă*, modul general de gîndire care a generat modelul cuarcilor. Obiecțiile sale față de acest model sînt, în ultimă instanță, tehnice și pot fi eliminate pe baza unor argumente pe care el le-ar resimți drept constrîngătoare. Heisenberg, dimpotrivă, nu poate indica condițiile în care ar putea accepta teoria cuarcilor. El o respinge pe temeiul unor considerații principiale a căror încărcătură filosofică este neîndoielnică.

științifică. Dacă deosebirile de păreri de primul fel iau naștere într-un cadru general acceptat, dezacordurile de al doilea fel au drept obiect tocmai elementele ce constituie acest cadru. Nu simpla existență a unor asemenea dezacorduri, ci recunoașterea influenței pe care o pot avea opțiunile pe care le generează asupra orientării cercetării reprezintă, de fapt, adevărata provocare la adresa înțelegerii populare a obiectivității și raționalității cunoașterii științifice.

Este clar pentru oricine că Heisenberg nu polemizează cu un mod de gîndire influent în fizica particulelor elementare, al cărui produs specific este și ipoteza cuarcilor, în primul rînd din interese filosofice generale. Bătrînul fizician, care a evitat o viață întreagă, pe cît i-a stat în putință, polemicile, s-a simțit împins să ia poziție față de acest mod de gîndire fiindcă a apreciat că el amenință să atragă după sine dezvoltarea fizicii într-o direcție greșită și să împiedice concentrarea forțelor asupra unui program de cercetare mai promițător. Analogia cu opoziția lui Einstein față de interpretarea „ortodoxă“ a mecanicii cuantice este izbitoare, independent de modul cum apreciază Heisenberg însuși semnificația situării filosofice a lui Einstein. Ca și Einstein odinioară, Heisenberg credea că orientarea filosofică dominantă împinge fizica atomică într-o direcție greșită. Sensul criticii sale se dezvăluie fără echivoc în observația incisivă că astăzi, în fizica particulelor elementare, o fizică bună ar fi stricată inconștient de o filosofie proastă. (Vezi W. Heisenberg /14/, pag. 76 și pag. 86.) Gîndul lui Heisenberg pare să fie că în munca cercetătorului care abordează probleme teoretice de asemenea anvergură, cum sînt cele ale structurii materiei, supozițiile filosofice sînt oricum esențiale. Cercetătorii care afirmă cu deplină bună credință că nu se interesează de filosofie fac, de fapt, filosofie în măsura în care acceptă un mod de gîndire transmis prin tradiție. Ori de cîte ori în dezvoltarea cunoașterii științifice survin situații în care cadre din cele mai generale ale gîndirii noastre trebuie revizuite, cercetătorii din avangardă sînt confruntați în mod direct în probleme filosofice. Desigur că ei nu se simt prea în largul lor cînd trebuie să adopte o poziție în asemenea probleme. Dar încercarea de a le ocoli, tendința de a evita recunoașterea lor ca probleme filosofice și discutarea lor ca atare nu poate să nu fie, în cele din urmă, păgubitoare pentru știință.

Fizica particulelor elementare, socoate Heisenberg, ar fi ajuns într-un punct al evoluției în care o schimbare a conceptelor fundamentale ar fi imperios cerută. „Va trebui să abandonăm filosofia lui Democrit și conceptul de particulă elementară. Și va trebui să acceptăm, în locul lui, conceptul de simetrii fundamentale, care își are originea în filosofia lui Platon... Fără îndoială, asemenea transformări sînt, cum am spus deja, extrem de greu de realizat. Și chiar dacă se va realiza această schimbare, va trebui să clarificăm multe amănunte, atît experimentale cît și teoretice, în fizica particulelor elementare ; oricum, nu cred că fără o asemenea schimbare se va putea realiza o străpungere spectaculoasă." (W. Heisenberg /11/, pag. 23.) Judecata lui Heisenberg este categorică. El nu crede că sînt posibile progrese importante în fizica particulelor elementare dacă nu va avea loc reorientarea pe care o propune. În opoziție cu părerea majorității specialiștilor, Heisenberg nu se aștepta ca prin construcția unor acceleratoare cu putere mai mare să se poată obține informații esențiale și nu încuraja, în ultimii ani ai vieții, acceptarea marilor cheltuieli și riscurile legate de construirea unor asemenea instalații. (Vezi W. Heisenberg /12/, pag. 104.) Căutarea în continuare a unor particule mai elementare și în perspectivă a particulelor ce constituie componentele ultime ale substanței materiale va duce fizica particulelor elementare în impas. Această căutare, repeta el, trebuie înlocuită cu cercetarea structurilor fundamentale ale naturii. (Vezi W. Heisenberg /12/, pag. 109—110.) Aceasta este singura cale pe care poate fi realizat visul de întotdeauna al cercetătorului naturii : construcția unei teorii fundamentale a fizicii, care să asigure unificarea tuturor domeniilor ei. Oricare alta i se părea lipsită de perspective. „Căci spectrul particulelor nu poate fi înțeles decît atunci cînd cunoaștem dinamica materiei care îi stă la bază ; această dinamică este esențialul. Orice altceva ar fi numai un fel de imagini în cuvinte *(Wortgemälde)* ale tabelei particulelor și, în acest caz, tabela ar fi mai bogată în conținut decît aceste imagini." (W. Heisenberg /14/, pag. 92.)

Heisenberg spera desigur că apelul lui va fi înțeles și urmat de tînăra generație de fizicieni teoreticieni[16] Dacă considerăm astăzi, la aproape zece ani de la moartea lui, opinia dominantă în rîndurile cercetătorilor, nu găsim însă nici o indicație că avertismentele sale ar fi găsit vreun ecou sau că speranțele lui ar fi pe cale să capete viață. Dimpotrivă, nu am putut să identific nici cel puțin o reacție față de provocarea sa, din partea vreunui membru reprezentativ al grupului specialiștilor în fizica particulelor elementare. Se poate presupune că profesioniștii domeniului nu au apreciat că s-ar putea învăța ceva important dintr-o confruntare cu opiniile extremiste ale unui venerabil fizician, care nu mai este în viață. Totul pare să indice că analogia, pe care nu ezita să o propună Heisenberg, între starea fizicii teoretice în perioada imediat premergătoare anilor 1925—27 și cea de astăzi exprimă mai degrabă înclinația, de înțeles, a unui cercetător în vîrstă de a considera noile situații problematice ale cunoașterii din punctul de vedere a ceea ce a constituit experiența lui intelectuală, științifică și filosofică fundamentală. Cine poate ști însă ce ne va aduce viitorul ? Orientările științifice susținute de idealuri explicative hrănite din precedente istorice pot fi greu judecate prin raportare la evoluții pe termen scurt ale cercetării. Ele, ca și filosofiile lor subiacente, sînt supuse însă, pînă la urmă, probei timpului.

---

[16] Într-o conferință privitoare la începuturile mecanicii cuantice la Göttingen, ținută în 1975, Heisenberg sublinia analogia între situația de criză care a premers apariția noii mecanici, a mecanicii cuantice, și situația actuală din teoria particulelor elementare. Și atunci, ca și acum, se impune abandonarea unor concepte și idei familiare, adînc înrădăcinate. „Dar eu cred că numai acela are o șansă de a realiza o clarificare deplină în fizica particulelor elementare care este în stare, ca altădată... să aducă această jertfă nu numai cu intelectul, ci și cu inima. O asemenea evoluție este astăzi tot așa de interesantă și tulburătoare ca acum 50 de ani și sper că tînăra generație va lua parte la ea cu aceeași bucurie.“ (W. Heisenberg /15/, pag. 60.)

CÎTEVA CONCLUZII

Analizele istorice cuprinse în această carte și-au propus să releve că gîndirea teoretică a omului de știință exactă se mișcă întotdeauna într-un cadru de idei generale. Este vorba de idei mai mult sau mai puțin elaborate asupra țelurilor cunoașterii fizice, de supoziții, de multe ori latente, cu privire la condițiile unei descrieri și explicații teoretice satisfăcătoare. Asemenea idei și supoziții se împletesc de obicei strîns cu reprezentări generale asupra naturii realității fizice. Exigențe privitoare la caracteristici structurale ale legilor și teoriilor fizice, exigențe după care se conduc în mod spontan sau conștient cercetătorii în evaluarea construcțiilor teoretice, se sprijină, de regulă, pe reprezentări, de multe ori vagi, foarte puțin precizate, asupra elementelor din care se constituie realitatea fizică, asupra trăsăturilor distinctive ale acestor elemente, precum și ale relațiilor dintre ele. Asemenea idei sau supoziții-cadru constituie, în unitatea și interacțiunea lor, „infrastructura filosofică", de cele mai multe ori invizibilă, a gîndirii științifice exacte. Considerate funcțional, ele ne apar ca „vectori", ca forțe din adîncuri ce determină marile direcții de mișcare ale gîndirii cercetătorilor. Natura lor filosofică ni se dezvăluie sub mai multe aspecte.

Mai întîi, ele pot să funcționeze fără să fie formulate explicit, cît se poate de clar și de complet, așa cum se cer formulate toate noțiunile, ipotezele sau teoriile ce constituie conținutul tehnic al științei exacte[1]. Oamenii de știință se preocupă de explicitarea lor sau chiar de elaborarea lor relativ sistematică, creionînd schițe sumare de teorii ale cunoașterii fizice, doar în imprejurări speciale, pentru a se face mai bine înţeleşi de către oponenţi în controverse ce au drept obiect fundamentele disciplinei şi îndeosebi pentru a justifica proiecte ştiinţifice de mare anvergură teoretică, direcţii sau orientări fundamentale ale cercetării. Cu alte cuvinte, cercetătorii de primă mărime formulează consideraţii generale asupra sensului şi ţelurilor cunoaşterii fizice, încearcă să stabilească criterii pentru munca teoreticianului, conturează reprezentări ideale cu privire la obiectivele finale ale acestei munci, mai ales atunci cînd simt nevoia de a-şi clarifica, explica şi justifica opţiunile, de a motiva fie necesitatea unei reorientări a gîndirii teoretice, fie temeiurile fidelităţii lor faţă de o tradiţie de cercetare consacrată. Dincolo de preocuparea de a schiţa, pentru publicul larg, o imagine asupra naturii cunoaşterii ştiinţifice izvorîtă din experienţa unică a unei vieţi de cercetare şi a unei epoci ştiinţifice, „filosofiile“ fizicienilor au o subliniată finalitate pragmatică. Ele sînt, de cele mai multe ori, profund solidare cu o angajare ştiinţifică majoră şi pot fi înţelese, în ţelurile lor mai practice, fie ca proclamaţii-manifest ale unei revoluţii ştiinţifice profunde care afectează cadrele conceptuale generale ale gîndirii, fie ca pledoarii pentru valoarea şi caracterul peren ale unor idealuri ştiinţifice tradiţionale. „Filosofia fizicii“ făcută de fizicieni înfloreşte îndeosebi în epocile de răscruce ce survin în dezvoltarea gîndirii fizice, epoci în care cei mai autorizaţi exponenţi ai domeniului pot să gîndească diferit asupra perspectivelor şi căilor dezvoltării viitoare. Atît timp cît reprezentările generale despre natură, despre sensul şi ţelurile cunoaşterii fizice sînt general împărtăşite în comunitatea teoreticienilor, există considerabil mai puţine motive şi impulsuri pentru reflecţii asupra „principiilor cercetării“.

---

[1] Pentru conceptul *presupoziție filosofică a științei*, vezi și C. Grecu, *Philosophical Presuppositions of Science.*

În al doilea rînd, supoziţiile-cadru ale gîndirii fizice nu sînt sub controlul experienţei ştiinţifice într-un înţeles direct şi strict al acestei expresii. Ele sînt idei „speculative“ şi nu „pozitive“. Nu se poate decide asupra bunei lor întemeieri prin simplă raportare la fapte empirice obiective, general recunoscute ale experienţei ştiinţifice prin producerea unor demonstraţii constrîngătoare pentru toţi specialiştii. Altfel spus, ele nu pot fi „confirmate“ sau „infirmate“ prin demersuri ştiinţifice singulare, discrete, strict localizate şi delimitate. Evaluarea lor se realizează prin aprecierea fertilităţii lor, a capacităţii de a oferi indicaţii care favorizează progresul cercetării, de a conduce la teorii care ordonează în mod „natural" datele experienţei şi fac posibilă descoperirea unor fapte noi. Or, asemenea evaluări nu se desprind, de multe ori, în mod clar şi nu se impun tuturor celor competenţi şi de bună credinţă decît la capătul unor evoluţii ştiinţifice de lungă durată.

În al treilea rînd, supoziţiile-cadru în interiorul cărora se mişcă cunoaşterea fizică îşi dezvăluie natura filosofică prin înrudirea şi comunicarea lor strînsă cu idei care au apărut şi s-au dezvoltat în afara ştiinţei pozitive, în principalele tradiţii istorice ale gîndirii filosofice. Există desigur o distincţie clară nu numai între marile construcţii filosofice, tentative de sinteză raţională a experienţei umane globale, şi filosofiile ştiinţei, ci chiar între teoriile filosofice generale ale cunoaşterii şi „filosofia fizicii", înţeleasă ca o reflecţie vie a cercetătorilor asupra problemelor centrale ale cunoaşterii fizice, susţinută şi structurată, în primul rînd, de preocupări „practice" pentru orientarea pe mai departe a cercetării. „Filosofia fizicii", în acest sens, se distinge clar şi de „filosofia fizicii", înţeleasă ca reconstrucţie riguroasă, *post factum* a conceptelor, teoriilor şi metodelor fizicii, pe care o realizează filosofi de orientare analitică, interesaţi în primul rînd în analiza logică a cunoaşterii ştiinţifice. Spre deosebire de filosofia de acest al doilea fel, care porneşte de la rezultate elaborate ale fizicii teoretice, fiind reflecţie şi analiză a ştiinţei gata făcute, cea de primul fel are o funcţie constituantă în sensul că susţine şi orientează orice iniţiativă de mare anvergură a fizicianului teoretician. Ea este vie şi activă în gîndirea fizicienilor care nu se interesează de filosofie şi nu cultivă preocupări pe care le recunosc drept filosofice. Emanciparea cercetării ştiinţifice de autoritatea filosofiei de şcoală nu a însemnat, cum s-a crezut adesea, eliberarea gîndirii ştiinţifice de determinaţii filosofice. Studiile istorice pe care le-am întreprins arată, cred, că deşi ştiinţa exactă a naturii s-a constituit în discipline autonome, despărţite de filosofie, ea nu s-a golit de substanţă filosofică. În sîmburele tare al marilor orientări ale gîndirii fizice moderne am găsit un strat dens de presupoziţii filosofice. Inspirate adesea de concepte, probleme, teme şi motive care s-au cristalizat în evoluția istorică a gîndirii filosofice, aceste supoziții capătă contur și se modifică printr-o reflecție vie și continuă asupra experiențelor fundamentale ale cercetării. Corelația dintre mari curente ale gîndirii teoretice și forme sau structuri de gîndire dezvoltate în tradiția filosofică a fost semnalată cu multă perspicacitate încă de Fr. Engels. Ceea ce este și mai remarcabil, Engels a subliniat permanența motivelor filosofice în gîndirea teoretică a cercetătorilor naturii, caracterul lor inalienabil, tocmai într-o epocă cînd mentalitatea acestora era dominată, mai mult ca oricînd, de influențe empiriste și pozitiviste, care tindeau să îngroașe și să absolutizeze liniile de demarcație dintre filosofic și științific, să proclame autonomia științei exacte în sensul independenței ei de gîndirea filosofică în general. Faptul că aceste tendințe s-au dezvoltat în primul rînd ca reacții la pretențiile absolutiste ale filosofiei speculative de sistem, cu deosebire a celei de la începutul secolului al XIX-lea, nu era în măsură să le confere îndreptățire. Căci recunoașterea infiltrațiilor adînci ale filosoficului în corpul gîndirii teoretice nu are nimic comun cu subordonarea gîndirii științifice unor principii impuse din afară și nu poate legitima în nici un fel ambițiile „imperialiste“ ale filosofiei concepută ca „știință a științelor“. Engels sublinia că acei oameni de știință ai epocii care respingeau orice „metafizică“ și priveau de sus, cu suficiență, ideile filosofilor și sistemele filosofice ale trecutului nu o rupeau de fapt cu filosofia, nu se eliberau de idei filosofice în general. Căci propriile lor probleme, problemele teoretice ale științei, au o încărcătură filosofică. Relațiile cu adevărat profunde și statornice între gîndirea filosofică și gîndirea științifică nu sînt cele care se stabilesc datorită intereselor filosofice „speciale“ ale anumitor oameni de știință și se manifestă în exprimările lor „filosofice“ ocazionale, ci acelea care decurg din „încărcătura filosofică“ imanentă a gîndirii teoretice în general. „Cercetătorii naturii — scria Engels, ironizînd iluziile pozitiviste ale vremii — își închipuie că se eliberează de filosofie ignorînd-o sau denigrînd-o... Deoarece însă fără gîndire ei nu pot înainta nici un pas, iar pentru gîndire au nevoie de determinații ale gîndirii și preiau aceste categorii fără nici un discernămînt din conștiința comună a așa-zișilor oameni culți, dominată de rămășițele unor filosofii de mult perimate, sau din picul de filosofie pe care sînt constrînși să-l audieze la universitate, ori din lectura necritică și nesistematică a tot soiul de scrieri filosofice, ei nu sînt mai puțin aserviți filosofiei, dar, din păcate și în majoritatea cazurilor, filosofiei de cea mai rea speță ; iar cei care denigrează cel mai mult filosofia sînt tocmai sclavii celor mai proaste rămășite vulgarizate ale teoriilor filosofice de cea mai proastă calitate". Și mai departe : „Orice ar spune și ar face cercetătorii naturii, ei sînt dominați de filosofie. Se pune numai întrebarea dacă vor să fie dominați de vreo filosofie de proastă calitate la modă sau de o formă a gîndirii teoretice bazată pe cunoașterea istoriei gîndirii și a cuceririlor ei." (Fr. Engels, pag. 507—508.) Este în logica acestei situări că pe măsură ce gîndirea teoretică „pozitivă" se maturizează, cîștigă în generalitate, nivel de abstracție și în putere de cuprindere, ea se va găsi confruntată cu probleme filosofice de o anvergură și o profunzime fără precedent. În încercările lor de a se clarifica asupra acestor probleme, cercetătorii care deschid noi drumuri în științele exacte ale naturii nu au decît de cîștigat din sugestiile pe care le poate oferi cunoașterea marilor tradiții ale gîndirii filosofice. Reflecțiile sumare ale lui Engels despre filosofia spontană a cercetătorilor naturii pot fi citite astăzi cu alți ochi, în lumina unor experiențe cum sînt cele ale înfruntării dintre „realismul" einsteinian și filosofia complementarității, dintre interpretări alternative ale sensului inegalităților lui Bell sau dintre ceea ce Heisenberg caracteriza drept modelele explicative democritian și platonic în fizica particulelor elementare. La mai bine de un secol de cînd Engels a așternut pe hîrtie observații ca cele de mai sus, gîndirea teoretică în științele matematice ale naturii ne apare mai angajată din punct de vedere filosofic ca oricînd înainte, în istoria ei agitată de trei secole.

Cîtă vreme sînt unanim împărtășite, multe din presupozițiile filosofice generale ale gîndirii fizice rămîn de obicei nerostite și nu rareori latente. Ele sînt resimțite ca „evidențe ale gîndirii" și nu apar celor ce le împărtășesc drept ceea ce sînt de fapt, adică drept opțiuni filosofice. Antropologii de teren și cercetătorii culturilor vechi observă uneori că „nu avem conștiința decît a ceea ce ne este străin". O asemenea sentință ar putea fi adaptată situației la care ne referim spunînd că cercetătorul din științele exacte ale naturii nu dobîndește adesea conștiința determinațiilor filosofice ale propriei sale gîndiri decît în contactul cu o gîndire științifică orientată de supoziții și reprezentări radical deosebite. Natura filosofică a propriilor sale intuiții este percepută cu acuitate abia pe fondul contrastant al unor situări științifice care le sfidează, care pun în cauză ceea ce el a fost înclinat să creadă mai înainte că ține de însăși structura gîndirii noastre. Cuvintele lui Einstein, „instinctul meu științific se zbîrlește la această idee“, mi se par o exprimare spontană, cu mare forță sugestivă, a unei asemenea experiențe. Ceea ce cercetătorul a gîndit pînă atunci în mod spontan ca fiind în natura rațiunii omenești sau a rațiunii științifice în genere i se relevă acum, dintr-o dată, ca substanță ireductibilă a propriilor sale angajamente filosofice.

Episoadele istorice pe care m-am străduit să le reconstitui pînă în amănunte, care au putut apărea excesive și obositoare, conduc la concluzia că influența complexă și profundă pe care au exercitat-o convingeri filosofice spontane în orientarea judecății și comportării omului de știință devine vizibilă ori de cîte ori cercetarea ajunge în situații problematice care pun în discuție cadre conceptuale generale ale gîndirii științifice. În asemenea situații, angajarea cercetătorului pentru un proiect științific fundamental se va afirma în mod clar drept o angajare de natură filosofică. Iar înclinația cu totul firească a marilor personalități științifice de a întemeia o asemenea angajare în lumina experiențelor istorice implică întotdeauna un mod determinat de a considera trecutul gîndirii științifice, care nu se va impune altora decît pe baza unor supoziții adesea neformulate ce trebuie să fie acceptate în prealabil.

Propunînd orientări distincte și incompatibile ale cercetării, bazate pe reprezentări divergente asupra sensului și țelului cunoașterii științifice, cei mai mari oameni de știință nu vor putea argumenta convingător că au ales calea cea bună decît celor care le împărtășesc în mod spontan convingerile filosofice. Trebuie să treacă adesea o lungă perioadă de timp pentru ca justețea unei angajări strategice fundamentale să poată fi apreciată ca pe deplin îndreptățită datorită fertilității ei manifeste, iar lipsa de perspectivă a alteia să poată fi stabilită fără posibilitate de dubiu. Puțini oameni de știință care adoptă angajări de profunzimea celor ale lui Einstein, Schrödinger, de Broglie, Bohr sau Heisenberg ajung să trăiască momentul în care succesul sau eşecul ideilor lor directoare să poată fi considerat pe deplin probat. Recunoaşterea faptului că supoziţiile filosofice care susţin marile curente ale gîndirii ştiinţifice sînt susceptibile, în ultimă instanţă, de o evaluare raţională, trebuie să fie ţinută în cumpănă de conştiinţa că această evaluare nu constă într-un demers sau într-o succesiune de demersuri ştiinţifice discrete, ci reprezintă un proces istoric[2]. Atîta vreme cît verdictul asupra valorii unei strategii ştiinţifice fundamentale, pe care îl dă doar timpul, nu se va contura cu toată claritatea, susţinătorii ei vor apela cu predilecţie la argumente istorico-critice. Altfel spus, ei vor căuta antecedente din istoria ştiinţei care ar putea să sprijine, prin puterea argumentativă a analogiei, propria lor linie de gîndire.

Toată lumea ştie, desigur, că pentru cercetătorul de rînd realizările ştiinţifice pledează mai convingător în favoarea unei opţiuni strategice decît cea mai impresionantă acumulare de argumente istorico-filosofice. Dacă oamenii de ştiinţă creatori, angajaţi în controverse asupra fundamentelor disciplinei, se străduiesc totuşi să producă asemenea argumente, ei o fac în lipsă de ceva mai bun. Încercările de a întemeia propriile convingeri prin apel la învăţăminte ce pot fi desprinse din examinarea dezvoltării istorice a cunoaşterii fizice înseamnă totuşi mult mai mult decît „mărturia degetului mic". Recursul la argumente istorico-filosofice reprezintă un substituit provizoriu, în așteptarea unor rezultate științifice decisive. Einstein, bunăoară, ar fi schimbat bucuros toate argumentele de acest fel pe care le-a adus în favoarea ideii unei teorii unitare a cîmpului cu atingerea acelui punct în care proiectul său științific, bazat pe considerații de ordin principial, s-ar fi transformat într-o teorie propriu-zisă, capabilă să permită producerea unor predicții testabile. El a investit în eforturile de a ajunge la asemenea rezultate mult mai multă muncă și ingeniozitate decît l-au costat argumentele istorico-critice, pe care le-a risipit cu generozitate în scrieri cu caracter filosofic, în corespondență sau în discuții particulare. Totodată, Einstein nu a crezut pînă la sfîrșit că lipsa unor succese semnificative indică sterilitatea proiectului său, caracterul perimat al filosofiei care i-a dat naștere și care îl susținea, avertizînd tot timpul împotriva tendinței de a judeca principiile cercetării în lumina unor evoluții pe termen scurt ale gîndirii științifice și deplîngînd înclinația de a pune succesele momentane deasupra a ceea ce numea „o reflecție de principiu". Or, ce altceva este o „reflecție de principiu" decît reprezentarea generală a cercetătorului cu gîndire independentă despre sensul și țelurile cunoașterii fizice, reprezentare pe care se întemeiază un anumit fel de a vedea căile viitoare ale dezvoltării teoriei ? Și dacă, lucru neașteptat, colegi cu cea mai înaltă calificare de specialitate pun în discuție judecăți care își trag îndreptățirea tocmai dintr-o asemenea reprezentare, mai există oare vreo altă cale pentru a o apăra și a arăta că ei greșesc decît apelul la argumente istorico-filosofice ?

---

[2] Critica raţională în ştiinţă, subliniază St. Amsterdamsky, nu trebuie limitată la critica ce se întemeiază pe experimente şi demonstraţii insularizate. Supoziţiile „metafizice" ale cercetării, marile proiecte ştiinţifice pe care le inspiră pot fi controlate pînă la urmă de „experienţa epistemologică", de evoluţiile pe termen lung ale gîndirii ştiinţifice. Vine întotdeauna un moment cînd presupoziţii de acest fel vor trebui abandonate, nu fiindcă s-a putut demonstra în mod formal sau material falsitatea lor, ci fiindcă ele nu au reuşit să-şi probeze funcţia euristică, după cum altele vor fi larg acceptate datorită capacităţii lor de a orienta fertil, în calitate de principii regulative ale cercetării, gîndirea şi construcţia teoretică. (Vezi St. Amsterdamsky, pag. 171—173.) Se poate spune, de exemplu, că dezvoltarea fizicii teoretice în ultima jumătate de secol ne pune în situaţia de a aprecia mai bine justeţea opţiunii pe care o reprezintă „realismul ştiinţific" al lui Planck, ca şi îndreptăţirea criticii marelui fizician german la adresa teoriei fenomenaliste a cunoaşterii fizice.

O „reflecție de principiu" va avea deci o însemnătate hotărîtoare pentru urmărirea consecventă a unei strategii științifice. În cele din urmă, concluziile la care conduce o asemenea reflecție sînt cele care întăresc înclinațiile oarecum spontane, „intuiția" cercetătorilor cu personalitate și cu independență de spirit, și pot să explice marea putere de rezistență a convingerilor lor filosofice în fața eșecurilor persistente, repetate ale încercărilor de a atinge obiectivele programului științific pe care îl urmăresc. Exemplul lui Boltzmann, cele ale lui Einstein și Schrödinger, cît și ale atîtor fizicieni de primă mărime care au crezut sau mai cred și astăzi în succesul teoriilor cu parametri ascunși, consacrîndu-și fără ezitare toate forțele realizării acestui proiect științific, sînt pilduitoare. Neputînd proba fertilitatea programului lor prin rezultate, ei i-au susținut îndreptățirea prin considerații istorico-filosofice. Este firesc și inevitabil ca opțiunea pentru anumite idealuri explicative și standarde de inteligibilitate să fie apărată sau criticată în lumina experiențelor dezvoltării istorice a cunoașterii fizice înainte ca evoluțiile pe termen lung să producă un verdict care va fi acceptat drept definitiv.

Considerarea unor pagini recente din istoria științei exacte a naturii, cum este lupta de o viață a lui Einstein împotriva „teoriei statistice a cuantelor“ sau campania lui Heisenberg împotriva a ceea ce el numea „modelul explicativ atomist“ sau „idealul democritian“ în teoria particulelor elementare, relevă, cred, și o ambivalență fundamentală în atitudinea oamenilor de știință creatori, angajați în mari confruntări privitoare la direcțiile strategice de dezvoltare ale gîndirii științifice. Pe de o parte, ca oameni de știință exactă, ei știu ce preț au argumentele tehnice constrîngătoare. Tocmai un sentiment profund al valorii și demnității cunoașterii pozitive pare să-i fi împins, aproape inconștient, să încerce să confere argumentării lor atributele unei demonstrații. După ce a eșuat în mod clar în încercările sale de a demonstra, prin experimente mintale, „inconsistențele“ mecanicii cuantice, Einstein „demonstra“ incompletitudinea descrierii mecanic-cuantice a realității fizice, iar Heisenberg încerca să derive din „probe experimentale“ caracterul neîntemeiat al supozițiilor ce susțin direcția de gîndire dominantă în teoria particulelor elementare. De Broglie, la rîndul său, a aderat, chiar dacă nu cu inimă ușoară, la „interpretarea ortodoxă“ a mecanicii cuantice atît timp cît nu a văzut o cale practicabilă pentru a da o întemeiere tehnică satisfăcătoare opțiunilor sale filosofice, dar a trecut în opoziție activă, de îndată ce a întrezărit o asemenea posibilitate. Aceasta este însă numai o față a lucrurilor. Pe de altă parte, acești mari oameni de știință au contestat sistematic pretenția oponenților de a fi produs argumente cu valoare demonstrativă. Ei denunțau întotdeauna șubrezenia argumentării celeilalte părți subliniind că argumentele ei sînt constrîngătoare numai dacă admitem, drept premise indiscutabile, anumite reprezentări cu privire la criteriile descrierii teoretice, la sensul și țelurile cunoașterii fizice, și anume reprezentări pe care le socoteau inacceptabile din punct de vedere general filosofic. Ar fi destul ca acestea să fie identificate, scoase la iveală, pentru ca argumentarea adversarilor să-și piardă orice putere de convingere. Dimpotrivă, premisele propriei lor gîndiri științifice le considerau în acord cu tendința generală de evoluție ce poate fi desprinsă prin examinarea dezvoltării istorice a științei exacte[3], iar confirmarea liniei de cercetare care este solidară cu ele prin rezultate științifice semnificative o apreciau ca fiind, în ultimă instanță, doar o chestiune de timp. S-ar greși dacă s-ar încerca să se facă o dovadă din faptul că asemenea rezultate întîrzie să apară. Succesele și insuccesele pe termen scurt nu ar trebui considerate semnificative într-o discuție care angajează țelurile superioare și idealurile supreme ale cunoașterii științifice. Este clar că acestor idealuri și țeluri li se atribuie o poziție privilegiată, că dezacordul asupra lor poate zădărnici forța constrîngătoare a argumentelor produse într-o controversă științifică.

Studiile istorice de caz pe care le-am întreprins arată că marile controverse asupra fundamentelor cunoașterii fizice, care au avut loc în ultimul secol, au dus, într-o formă sau alta, nu numai la recunoașterea rolului vital dar și a locului aparte al principiilor cercetării, al idealurilor cognitive în sistemul științei exacte. În unele cazuri, aceste principii și idealuri sînt calificate fără ocol drept premise ireductibile ale gîndirii științifice. Einstein, bunăoară, recunoștea că premisele demonstrației sale de incompletitudine a descrierii mecanic-cuantice pot fi caracterizate drept „arbitrare“ atît timp cît le considerăm „din punct de vedere pur logic". O asemenea recunoaştere se întovărăşeşte adesea cu admiterea incapacităţii personale de a gîndi ştiinţific pe alte baze. De Broglie nu ascundea că ataşamentul său faţă de o fizică ce descrie lumea în imagini intuitive este de neclintit. La fel se pronunţa Einstein în legătură cu „principiul realismului" şi cu ideea acţiunii din aproape în aproape, şi într-un mod asemănător se situează fizicieni contemporani, ca B. d'Espagnat, faţă de o formulare mai generală a principiului einsteinian al realismului. Nici una dintre aceste personalităţi ştiinţifice proeminente nu ar fi admis însă că o asemenea „profesiune de credinţă" ar echivala cu recunoaşterea pur şi simplu a aservirii faţă de „obişnuinţe de gîndire" sau „intuiţii familiare". Premisele propriei lor gîndiri le apăreau drept condiţii elementare ale gîndirii teoretice în general, ale oricărui efort promiţător de cunoaştere autentică a naturii. Aceste premise nu ar exprima deci opţiuni subiective, personale, ci învăţămintele esenţiale ce pot fi desprinse printr-o examinare obiectivă a istoriei ştiinţei exacte. Punerea lor în discuţie nu poate fi, prin urmare, justificată, atît timp cît nu au fost explorate sistematic toate posibilităţile de a găsi, în cadrul lor, soluţii satisfăcătoare pentru problemele ştiinţifice ale prezentului[4]. Bohr şi Heisenberg, şi ceilalţi membri ai grupului de la Copenhaga, subliniau, de obicei, că necesitatea de a abandona anumite principii adînc înrădăcinate ale gîndirii fizice, cum sînt principiile clasice ale determinismului şi realismului, ar fi impusă de „experienţă". Întreaga lor argumentare se întemeia însă, cum am văzut, pe premisa, de cele mai multe ori tacită, că odată cu pătrunderea cunoaşterii în noi domenii ale realităţii fizice se impune şi o reconsiderare a standardelor cunoaşterii fizice, a semnificaţiei unor concepte metateoretice cum sînt *explicaţia* şi *înţelegerea*. Într-adevăr, experienţa susţine interpretarea standard a mecanicii cuantice dacă acceptăm, în prealabil, anumite supoziţii. Aceste supoziţii nu pot fi întemeiate însă pur şi simplu pe experienţă. Ele sînt expresia unei viziuni filosofice asupra sensului dezvoltării istorice a cunoaşterii fizice, căreia membrii grupului de la Copenhaga îi acordau în mod spontan, inconştient, un loc privilegiat. Tot aşa, sîmburele criticii formulate de Heisenberg, în anii săi tîrzii, la adresa teoriei cuarcilor, îl constituie presupoziţia că noţiuni familiare ca „a se divide“, „a fi constituit din“ devin inaplicabile pentru aşa-numitele particule elementare. Pretenţia lui Heisenberg că lipsa de temei a distincţiei dintre „particule elementare“ şi „particule compuse“ ar fi fost probată de principalele fapte experimentale ce constituie astăzi baza experimentală a fizicii atomice se susţine abia odată ce această presupoziţie este acceptată ca o premisă indiscutabilă.

---

[3] Astăzi aceasta este cea mai înaltă sursă de autoritate pe care pot fi sprijinite afirmații despre natura și sensul cunoașterii științifice. Altădată, oamenii de știință nu ezitau să invoce în sprijinul opțiunilor lor filosofice fundamentale ceea ce mentalitatea epocii lor considera, încă, drept sursă supremă de autoritate. Astfel, Galilei susținea că natura este o carte scrisă în caractere geometrice, de unde rezultă că o explicație satisfăcătoare a naturii poate fi dată numai în limbajul matematicii. Un alt mare om de știință al secolului său, englezul R. Boyle, admitea și el că natura este „un roman bine imaginat“, scris în fiecare din părțile sale de „mîna omniscientă a lui Dumnezeu“, dar susținea, spre deosebire de Galilei, că el nu ar fi utilizat caractere „geometrice“ ci „corpusculare“. Corpusculii ar fi, deci, principiile explicative ultime ale științei naturii. (Vezi Al. Koyré /5/, pag. 33—34.)

---

[4] Aşa putem înţelege, de exemplu, o formulare aparent paradoxală a lui Einstein, care remarca, spre sfîrşitul vieţii, răspunzînd criticilor colegilor săi fizicieni: „Aderenţa mea la ideea continuului nu-şi are originea într-o prejudecată, ci ia naştere din faptul că am fost incapabil să gîndesc ceva organic, care să-i ia locul." (A. Einstein /8/, pag. 686.) S-ar părea că Einstein se contrazice, contestînd, pe de o parte, că este dominat de „prejudecăţi" şi mărturisind, pe de altă parte, o incapacitate de ordin personal. În realitate, Einstein pare să aibă în vedere posibilităţile de a găsi o cale de unificare a fizicii în cadre la care crede că nu se poate renunţa fără a se renunţa, de fapt, la ştiinţă. Atrage atenţia că şi Heisenberg, unul din marii adversari ai lui Einstein, pe plan filosofic, admitea că, cel puţin în sensul lui curent, cuvîntul „prejudecată" este nepotrivit pentru a desemna asemenea angajamente.

Presupoziţiile cele mai generale sau intuiţiile filosofice în cadrul cărora se mişcă gîndirea unei epoci ştiinţifice sau a unei comunităţi ştiinţifice disciplinare, a unui grup ştiinţific determinat pot fi caracterizate drept *a priori*, într-un sens slab, pragmatic al termenului. Unii filosofi, prima dată C. I. Lewis, apoi A. Pap şi W. Sellars, au propus utilizarea termenului *a priori* într-un asemenea sens pentru a caracteriza situaţia cadrelor conceptuale ale cercetării, a definiţiilor, a legilor fundamentale sau principiilor unei discipline ştiinţifice. Aceste cadre sînt *a priori* în măsura în care fac posibile şi orientează cercetările particulare întreprinse într-un context problematic care marchează un anumit moment al istoriei unei discipline ştiinţifice. Ele sînt *a priori* şi în sensul că cercetătorii pleacă în mod spontan de la convingerea că problemele ce le stau în faţă vor putea primi o soluţie satisfăcătoare fără a se aduce vreo atingere acestor cadre. Aprioritatea este însă în acest caz o chestiune de decizie pragmatică. Căci cadrele conceptuale generale şi principiile ce conduc cercetarea pot fi reconsiderate ori de cîte ori devine clar că ele au încetat să funcţioneze ca instrumente intelectuale adecvate de organizare a experienței. „La baza întregii științe și cunoașteri stau categorii și concepte care exprimă deprinderi fundamentale de gîndire și atitudini profund înrădăcinate, pe care mintea omenească le-a luat în lumina întregii ei experiențe. Dar o experiență nouă și mai largă poate să determine anumite schimbări ale acestor atitudini, chiar dacă prin ele însele acestea nu dictează nimic experienței și nu este de conceput ca o experiență să probeze lipsa lor de validitate.“ (C. I. Lewis, pag. 238.)

Fără îndoială că expresia *a priori pragmatic* poate fi utilizată cu mai mult temei pentru a desemna locul aparte pe care îl au „principiile cercetării“, idealurile explicative și de inteligibilitate în sistemul științei exacte. Acestea sînt *a priori* fiindcă nu sînt sub controlul experienței științifice, în sensul obișnuit al termenului, a acelei experiențe care decide nu numai asupra ipotezelor empirice particulare, ci, chiar dacă într-un alt mod, și asupra teoriilor științifice fundamentale. Toate acestea constituie împreună *conținutul* cunoașterii fizice, în timp ce idealurile și criteriile cunoașterii teoretice pot fi caracterizate drept *principiile ei formale.* Recunoscînd și subliniind că nu numai *conținutul,* ci și *forma* cunoașterii fizice are o determinare și o dimensiune istorică, va trebui, totodată, să relevăm unele deosebiri esențiale în ceea ce privește temeiurile evaluării lor raționale. Concepte, ipoteze și teorii specifice, ce constituie în unitatea lor conținutul cunoașterii fizice, pot și trebuie să fie reevaluate în lumina unor date noi, revoluționare ale experienței științifice, și anume, pe baza unor indicații relativ izolate sau a unei succesiuni de indicații convergente, în raport cu nivelul lor diferit de generalitate. Idealurile explicative, criteriile legitimității științifice, „principiile cercetării“ se situează pe alt plan. În calitatea lor de supoziții-cadru, ele constituie condiții formale ce fac posibilă cunoașterea fizică. Ele sînt *a priori* în dublul sens că reprezintă premise din cele mai generale ale cercetării și că nu pot fi răsturnate, pur și simplu, de noile date ale experienței științifice. Legiferînd suveran în imperiul cunoașterii prin experiență, ele nu pot fi, la rîndul lor, judecate decît de o instanță superioară, de experiența dezvoltării istorice a gîndirii științifice. Sentințele pe care le întemeiază nu vor putea fi socotite însă fără drept de apel decît într-o perspectivă istorică foarte largă. O asemenea situare a principiilor regulative ale cercetării științifice a naturii poate fi caracterizată nu numai drept o distanțare clară de apriorismul tradițional, ci, totodată, ca o perspectivă din care putem aprecia elementele sale „raționale“, meritele sale istorice. În cadre istorice date, anumite principii regulative ale cercetării sînt într-adevăr condiții generale ale oricărei experiențe posibile, și Kant era îndreptățit să releve locul privilegiat al principiilor generale ale științei newtoniene (fizica pură) în știința naturii din vremea sa. Folosind un limbaj epistemologic modern, se poate spune într-adevăr că autorul *Criticii rațiunii pure* „a fost, în epistemologia științei, primul care a orientat atenția spre rolul specific al principiilor primare, care stau la baza unui program de cercetare teoretică cuprinzător. El a arătat că aceste principii diferă în ceea ce privește felul cum sînt dezvăluite și justificate, atît de generalizările empirice, cît și de sistemele ipotetico-deductive.“ (V. Lektorsky, pag. 716.)

Considerînd poziția excepțională a ceea ce putem numi „principiile descrierii fenomenelor“, ale „explicației naturii“, putem da socoteală și de unele caracteristici izbitoare, șocante ale controverselor dintre reprezentanții unor linii de gîndire științifică întemeiate pe „filosofii“ diferite și incompatibile, de tipul celor înfățișate și discutate pe larg mai sus. Aceste controverse se disting net de disputele științifice ce se desfășoară în cadre filosofice general acceptate. Înțelegem de ce în primele distincția dintre argumente tehnice și argumente filosofice, de principiu, își pierde în mare măsură contururile, de ce fiecărei părți, și în primul rînd celei pe care am putea-o numi „tradiționalistă“ sau „conservatoare“, îi vine tot mai greu să redea corect punctul de vedere al celeilalte, să explice plauzibilitatea acestui punct de vedere, capacitatea lui de a atrage aderenți. Și înțelegem de ce cercetători a căror carieră ilustrează în mod strălucit exigențele spiritului științific pot rezista unei argumentări stăruitoare, desfășurate de colegi cu cea mai înaltă calificare, fără ca probitatea lor intelectuală și competența lor profesională să fie puse sub semnul întrebării. Primim astfel o perspectivă nouă, proaspătă și asupra unor fapte discutate adesea de istoricii științei, și mai recent de sociologii științei, sub eticheta cuprinzătoare, „rezistența oamenilor de știință față de idei științifice noi". Istoria tradițională a științei explică îndeobște împotrivirea față de concepte și teorii științifice ce au devenit mai tîrziu general acceptate, în primul rînd ca o manifestare a prejudecăților, pasiunilor și slăbiciunilor omenești, de care nu ar fi liberi nici oamenii de știință, eventuali nici cei de primă mărime. Mai recent, unii sociologi ai științei au abordat mai sistematic această temă, încercînd să identifice factorii care pot să slăbească receptivitatea cercetătorilor față de noi idei și orientări științifice, susținute de argumente critice, raționale. Au fost incriminați factori cum sînt fidelitatea necondiționată față de anumite principii teoretice sau față de reprezentări metodologice determinate, considerațiile de rang științific, apartenența la anumite societăți și școli științifice, la o anumită generație științifică etc. (Vezi B. Barber.) Evident asemenea factori explică multe manifestări istorice ale conservatorismului științific. Ei nu pot însă să dea socoteală de „fenomene de rezistență" de felul celor pe care le-am înfățișat, și anume de rezistența față de idei și puncte de vedere pe care cunoscutul fizician englez C. G. Darwin le caracteriza sugestiv ca fiind nu numai greu de produs ci și greu de înțeles, fiindcă cer reconsiderări profunde în categoriile generale ale gîndirii. (Vezi C. G. Darwin, pag. 1.) Este vorba, aici, de divergențe care nu pot fi arbitrate pe baza criteriilor aplicate în mod spontan în evaluările științifice curente sau pe baza principiilor generale ale metodei științifice. Dacă înțelegem că aceste criterii și principii pot să restabilească consensul numai în măsura în care este vorba de divergențe care iau naștere într-un cadru general acceptat de părțile în discuție, este firesc și inevitabil ca cercetătorii care pornesc de la supoziții-cadru esențial diferite să aplice într-un mod diferit principiile metodologice generale și să ajungă la concluzii incompatibile. În aceste condiții, este inevitabilă producerea unei profunde rupturi de comunicație.

În mod caracteristic, cercetătorii care ridică anumite principii ale explicației naturii la rangul de condiții ale descrierii teoretice în general impută celor care nu le socot inviolabile că nu au „convingeri filosofice ferme". Ei nu se pot sustrage impresiei că renunțarea la idealuri de inteligibilitate care au condus mult timp cu succes cunoaşterea teoretică a naturii echivalează cu o degradare a ştiinţei teoretice în general ; fizica teoretică însăşi ar înceta să existe de îndată ce ele sînt puse în discuţie. Einstein va fi zîmbit îngăduitor citind afirmaţia făcută de J. Stark în 1922, într-o broşură despre „criza contemporană în fizica germană“ : „O fizică fără eter nu este fizică“. Mai tîrziu, el a susţinut însă cu deplină convingere, şi tot aşa au procedat cercetători de talia lui Schrödinger şi de Broglie, care confereau de asemenea valoare absolută idealului clasic al descrierii fizice, că o teorie care nu observă „cerinţa realităţii“ şi principiul „determinismului“ nu este „o teorie cu adevărat raţională“ şi nu oferă „o înţelegere în sensul obişnuit al cuvîntului“. Einstein nu putea să vadă în luările sale de poziţie faţă de criticii teoriei relativităţii un precedent pentru atitudinea lui în faţa teoriei cuantelor. Ceea ce lui Bohr sau Born şi altora le-a putut apărea drept o inconsecvenţă strigătoare la cer era pentru Einstein o consecinţă logică firească a ceea ce el resimţea drept o evidenţă : principiile regulative ce conturează idealul de cunoaştere al ştiinţei teoretice în general nu pot fi obiectul unei reconsiderări spre deosebire de principiile şi teoriile fizice propriu-zise, chiar şi de cele fundamentale. Judecăţile noastre ştiinţifice, credea el, sînt tot atît de failibile pe cît sînt de absolute, de neproblematice criteriile raţionalităţii şi ale inteligibilităţii descrierii teoretice a naturii în genere.

O manifestare semnificativă a rupturii de comunicaţie care se produce în controverse de felul celor pe care le-am examinat este că poziţia fiecărei părţi ne va apărea drept inatacabilă atît timp cît o vom considera din punct de vedere strict logic. Este un fapt peste care au trecut uşor acei fizicieni care au calificat poziţia lui Einstein sau Schrödinger drept conservatoare în sensul obişnuit al cuvîntului. Nu poate fi vorba de „conservatorism“ decît dacă conferim acestei expresii un sens special. Atunci cînd ceea ce îi desparte pe „tradiţionalişti“ de „revoluţionari“ sînt în primul rînd supoziţii filosofice de mare adîncime, moduri diferite de a vedea natura şi condiţiile pe care trebuie să le satisfacă o descriere şi o explicaţie teoretică satisfăcătoare, nu este potrivit să calificăm rezistenţa tradiţionaliştilor ca o rezistenţă faţă de nou[5]; ei rezistă faţă de idei şi teorii pe care nu le pot recunoaşte drept „noi“ sau „revoluţionare“. Dintr-o perspectivă istorică autentică, atît cei care propun o reconsiderare a principiilor cercetării, cît şi cei care li se opun ne apar ca oameni de ştiinţă. Celor angrenaţi în dispută le este mai greu să admită că atitudinea oponenţilor ar fi compatibilă cu exigenţele spiritului ştiinţific, chiar dacă buna credinţă şi probitatea lor profesională sînt depline.

Concluzia cea mai generală ce poate fi desprinsă din studiile istorico-filosofice cuprinse în această carte este că distincţia dintre conţinutul şi forma cunoaşterii fizice, dintre elementele tehnice şi principiile formale ale ştiinţei exacte a naturii, dintre revoluţii ştiinţifice care afectează doar conţinutul cunoaşterii şi prefaceri ştiinţifice încă mai profunde, care se răsfrîng asupra cadrelor celor mai generale ale gîndirii ştiinţifice, nu ne conduce la o respingere *de plano* a concepţiei curente asupra obiectivităţii ştiinţifice şi a distincţiei consacrate dintre contextul genezei şi contextul întemeierii, ci, mai degrabă, la determinarea limitelor valabilităţii lor. Se poate spune că reprezentarea de largă circulaţie asupra obiectivităţii cunoaşterii ştiinţifice, precum şi celebra distincţie dintre contextul genezei şi contextul întemeierii, care îi este strîns asociată, ne apar acum ca extinderi nelegitime ale unui punct de vedere ce poate fi justificat numai pentru perioadele relativ line din dezvoltarea ştiinţei exacte. Este clar că presupoziţiile-cadru ale cercetării, deci opţiuni care au un caracter esenţial filosofic, exercită o influenţă determinantă asupra judecăţii ştiinţifice a cercetătorilor. Dar aceştia devin rareori conştienţi de existenţa şi rolul lor. Datorită însăşi naturii acestor presupoziţii, este foarte greu ca ele să fie identificate și izolate. Cercetarea, discuția și judecata științifică sînt structurate într-un mod hotărîtor de presupoziții profund înrădăcinate în modul de a gîndi și în deprinderile de lucru pe care practicianul științei le asimilează în procesul instrucției sale profesionale. Evident, atît timp cît aceste presupoziții sînt împărtășite de către toți membrii unei comunități științifice, ele sînt absorbite în substanța disciplinei și nu există nimic care să atragă atenția asupra existenței lor drept cadre specifice ale anumitor forme istorice de viață științifică. Contestarea unor asemenea presupoziții, în măsura în care ele nu sînt distinse de permanențele vieții științifice, va fi privită ca o negare a științei însăși, o negare care îl poate descalifica doar pe contestatar ca om de știință. Numai punerea în discuție și reconsiderarea acestor supoziții, caracteristice pentru cele mai profunde prefaceri revoluționare ale cunoașterii științifice, pot favoriza recunoașterea existenței lor drept cadre istorice în care se dezvoltă cunoașterea științifică a naturii. Contrastul dintre perioadele istorice în care asemenea presupoziții domnesc și legiferează nestingherite și perioadele în care ajung să fie contestate de către cercetători de mare autoritate indică limpede limitele în care funcționează o distincție logico-filosofică cum este cea dintre contextul descoperirii și contextul justificării. Dacă atît timp cît practicienii cercetării împărtășesc un același fel de a vedea natura și știința nimic nu le poate indica existența și caracterul filosofic al premiselor care fac posibilă comunicarea lor deplină și aplicarea uniformă a unor standarde și valori științifice general acceptate, rezultă că ei sînt îndreptățiți să creadă că viața și discuția științifică ar fi guvernate exclusiv de asemenea standarde și valori, a căror formulare explicită constituie substanța oricărei încercări de a degaja principiile metodei științifice. În măsura în care se recunoaște nu numai caracterul istoric al ideilor filosofice dar se sugerează că acestea ar avea un caracter personal, înclinația cercetătorilor de a respinge în principiu supoziția că ele pot influența criteriile de evaluare a ideilor științifice reprezintă, în ultimă instanță, doar o subliniere indirectă a convingerii lor că judecata științifică este obiectivă. Pe de altă parte, atît timp cît o evaluare științifică poate fi asigurată prin aplicarea unor standarde metodologice general acceptate, distincţia dintre contextul descoperirii şi contextul întemeierii este, din punct de vedere practic, legitimă. Tocmai de aceea, examinarea atentă a vieţii ştiinţifice în timpul unor asemenea epoci, care acoperă cea mai mare parte a istoriei ştiinţei, nu poate produce fapte incompatibile cu punctul de vedere că evaluarea rezultatelor cercetării este condusă de criterii obiective, libere de orice influenţă de ordin filosofic.

---

[5] Într-un cadru diferit, cu referire la angajarea cercetătorilor faţă de paradigme şi la natura controverselor între cercetătorii care lucrează pe baza unor paradigme diferite, Kuhn a semnalat acest aspect în formulări sesizante: „Transferul de fidelitate de la o paradigmă la alta este o experienţă de convertire care nu poate fi forţată. Rezistenţa de o viaţă, mai ales din partea celor ale căror cariere productive i-au legat de o tradiţie mai veche de ştiinţă normală, nu este o violare a standardelor ştiinţei, ci un indicator al însăşi naturii cercetării ştiinţifice. Izvorul rezistenţei este încrederea că vechea paradigmă va rezolva pînă la urmă toate problemele, că natura poate fi înghesuită în tiparul oferit de paradigmă.“ (Th. S. Kuhn /1/, pag. 196.)

Este greu să ne închipuim că evoluţii dintr-un viitor chiar îndepărtat ar putea crea o situaţie în care experienţa profesională a cercetătorului de rînd să nu mai fie consonantă cu principiile pe care Michael Faraday, unul din fizicienii cu adevărat mari ai tuturor timpurilor, le formula astfel în una din primele sale prelegeri, la vîrsta de 25 de ani : „Cercetătorul naturii trebuie să fie pregătit să asculte orice sugestie, dar să-şi formeze singur judecata. El nu trebuie să se cramponeze de anumite fenomene, el nu are voie să aibă ipoteze favorite, să urmeze doctrinele vreunei şcoli sau ale vreunui maestru. El nu trebuie să se lase condus de respectul faţă de persoane, ci numai faţă de fapte." Există totuşi, cum am văzut, momente excepţionale în istoria ştiinţei exacte a naturii, momente în care apelul la standardele metodologice general acceptate nu mai este în măsură să asigure sau să restabilească acordul între membrii aceleiaşi comunităţi ştiinţifice. Nu se poate nega că în timpul acestor episoade extraordinare ştiinţa continuă să existe, deşi trebuie să admitem că principiile şi criteriile care guvernează cercetarea în epocile liniştite au fost slăbite în mod considerabil. Recunoaşterea acestui fapt nu este uşoară în măsura în care pare să pună în discuţie o reprezentare profund înrădăcinată asupra specificităţii şi a excelenţei cunoaşterii pozitive. Pregătirea şi experienţa cercetătorului sînt de aşa natură încît el este înclinat să identifice principiile şi criteriile care guvernează discuţia şi evaluarea rezultatelor ştiinţifice în perioadele liniştite cu substanţa normativă a cunoaşterii ştiinţifice în general. Cu toate acestea, insatisfacţiile acumulate prin încercările repetate, dar nu întotdeauna fructuoase, de a pune de acord propriile experienţe şi faptele istorice cu viziunea curentă asupra obiectivităţii cunoaşterii ştiinţifice îi pot determina, în cele din urmă, pe istoricul ştiinţei cu perspectivă largă şi pe cercetătorul cu interese istorico-filosofice să admită că aceste fapte vor putea primi o explicaţie mai firească dacă vom recunoaşte că în decursul unor asemenea episoade excepţionale părţile în conflict sînt separate de supoziţii filosofice ireconciliabile. Cel care se angajează pe această cale se detaşează de reprezentarea larg împărtăşită asupra obiectivității științifice, dar înțelege, în același timp, temeiurile popularităţii acestei reprezentări. El va cădea de acord că această reprezentare este în măsură să genereze o descriere susceptibilă să fie pusă de acord cu faptele și experienţele comune ale cercetării ştiinţifice. Chiar dacă va admite că ideea curentă a obiectivității cunoaşterii ştiinţifice și distincţia dintre contextul descoperirii și contextul întemeierii, cea mai explicită elaborare filosofică a acestei idei, nu pot fi în principiu susţinute, el va recunoaște legitimitatea lor relativă, posibilitatea de a le utiliza mai departe pentru a caracteriza viaţa unei discipline științifice mature, atît timp cît aceasta se desfăşoară în cadrul unor presupoziţii filosofice general acceptate.

BIBLIOGRAFIE

— Adair, R. C., *Concepts in Physics,* New York, Academic Press, 1969.

— Amsterdamski, St., *Between Experience and Metaphysics. Philosophical Problems in the Evolution of Science,* Dordrecht, Boston, D. Reidel Publishing Company, 1975.

— Ballentine, L. E., *Einstein's Interpretation of Quantum Mechanics,* în „American Journal of Physics", vol. 40, 12 dec. 1972.

— Barber, B., *Resistance by Scientists to Scientific Discovery,* în B. Barber, W. Hirsch (eds.), *The Sociology of Science,* New York, Free Press, 1962.

— Bell, J. S., *Introduction to the Hidden-Variables Question,* în B. d'Espagnat (ed.), *Foundations of Quantum Mechanics,* New York and London, Academic Press, 1971.

— Bergman, H., *Personal Remembraces of Albert Einstein,* în R. S. Cohen, M. W. Wartofsky (eds.), *Logical and Epistemological Studies in Contemporary Physics,* D. Reidel, 1974.

— Bernstein, J., *Einstein and Bohr : A Debate,* în J. Bernstein, *A Comprehensible World : On Modern Science and its Origins,* New York, Random House, 1962.

— Beveridge, W. J. B., *Seeds of Discovery,* London, Heinemann, 1980.

— Blaga, L. /1/, *Cultură și cunoștință,* Cluj, Editura Institutului de Arte Grafice „Ardealul", 1922.

— Blaga, L. /2/, *Experimentul și spiritul matematic,* București, Editura științifică, 1969.

— Blohințev, D. I. /1/, *Bazele mecanicii cuantice,* Ed. a II-a, București, Editura tehnică, 1954.

— Blohințev, D. I. /2/, *Principes de mécanique quantique,* Moscou, Editions Mir, 1982.

— Blüh, O., *Ernst Mach — His Life as a Teacher and Thinker,* în R. S. Cohen, R. J. Seeger (eds.), *Ernst Mach, Physicist and Philosopher,* Reidel, 1970.

— Bohm, D. /1/, *Causality and Chance in Modern Physics,* London, Routledge & Kegan Paul, 1957.

— Bohm, D. /2/, *A proposed Explanation of Quantum Theory in Terms of Hidden Variables at a Sub-Quantum Mechanical*

— de Broglie, L. /11/, *Avant-propos,* în L. de Broglie, *Recherches d'un demi-siècle,* 1975.

— Brush, St. G. /1/, Translator's Introduction to Ludwig Boltzmann, *Lectures on Gaz Theory,* Berkeley and Los Angeles, University of California Press, 1964.

— Brush, St. G. /2/, *Should the History of Science rated X?,* în „Science", vol. 183, n. 4130, 1974.

— Bunge, M. /1/, *Physics and Reality,* în „Dialectica", vol. 19, n. 3—4, 1965.

— Bunge, M. /2/, *The Turn of the Tide,* **în M. Bunge (ed.),** *Quantum Theory and Reality,* New York, Heidelberg, Berlin, Springer Verlag, 1967.

— Bunge, M. /3/, *Philosophie de la physique* (1973), Paris, Edition du Seuil, 1975.

— Bunge, M. /4/, *The Interpretations of Heisenberg's Inequalities,* în (Hrsg.) H. Pfeiffer, *Denken und Umdenken. Zu Werk und Wirkung von Werner Heisenberg,* München, Zürich, Piper Verlag, 1977.

— Bunge, M. /5/, *The Einstein-Bohr Debate over Quantum Mechanics; who was right about what,* în H. Nelkowski, A. Hermann, H. Poser, R. Schröder, (eds.), *Einstein Symposium, Berlin,* Springer Verlag, 1979.

— Burtt, E. A., *The Metaphysical Foundations of Modern Physical Science,* New York, Harcourt, Brace and Co., 1932.

— Butterfield, H., *The Origins of Modern Science* (1949), London, G. Bell and Sons, 1968.

— Carnap, R., *Einführung in die Philosophie der Naturwissenschaft* (1966), München, Nymphenburger Verlagshandlung, 1969.

— Carnap, R., Hahn, H., Neurath, O., *Wissenschaftliche Weltaufassung — Der Wiener Kreis* (1929), în H. Schleichert (Hrsg), *Logischer Empirismus — Der Wiener Kreis,* München, W. Fink Verlag, 1975.

— Clavelin, M., *La philosophie naturelle de Galilée. Essai sur les origines et la formation de la mécanique classique,* A. Colin, 1968.

— Cohen, M., Nagel, E., *An Introduction to Logic and Scientific Method,* New York, Harcourt, 1939.

— Conradt, R., *Dialog mit der Physik. Elementarteilchen-Forschung in der Sackgasse?,* în „Bild der Wissenschaft", 10, 1976.

— Darwin, C. G., *The Discovery of the Atomic Number,* în W. Pauli (ed.), *Niels Bohr and the Development of Physics,* Oxford, New York, London, Paris, Pergamon Press, 1955.

— Davies, J. T., *The Scientific Approach,* Academic Press, 1973.

— Destouches, J. L., *Retour sur le passé,* în *Louis de Broglie. Physicien et penseur,* 1953.

— Dirac, P. A. M., *The Principles of Quantum Mechanics,* Fourth Edition, Oxford, Clarendon Press, 1959.

— Duhem, P. /1/, *L'évolution de la mecanique,* Paris, A. Hermann, 1905.

— Duhem, P. /2/, *La théorie physique. Son objet et sa structure,* Paris, Chevalier & Rivière, Editeurs, 1906.

— Duhem, P. /3/, *La science allemande,* Paris, A. Hermann, 1915.

— Eckermann, J. P., *Convorbiri cu Goethe în ultimii ani ai vieții sale,* București, Editura pentru literatură universală, 1965.

— Einstein, A. /1/, *Theoretische Atomistik,* în *Physik,* unter Redaktion von E. Warburg, Leipzig und Berlin, Verlag B. G. Teubner, 1915.

— Einstein, A. /2/, *Ernst Mach,* „Physikalische Zeitschrift", 17, 1 april 1916.

— Einstein, A. /3/, B. Podolski, Rosen, N., *Can Quantum Mechanical Description of Physical Reality be considered completeed ?,* în „The Physical Review", 47, 1935.

— Einstein, A. /4/, *Physics and Reality* (1936), în A. Einstein, *Out of my later Years,* New York, Philosophical Library, 1950.

— Einstein, A. /5/, *The Fundamentals of Theoretical Physics* (1940), în *Out of my later Years,* 1950.

— Einstein, A. /6/, *Quantenmechanick und Wirklichkeit,* în „Dialectica", vol. 2, n. 3—4, 1948.

— Einstein, A. /7/, *Autobiographisches* (1949), în P. A. Schilpp (Hrsg.) *Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher,* Stuttgart, W. Kohlhammer Verlag, 1955.

— Einstein, A. /8/, *Bemerkungen zu den in diesem Bände vereinigten Arbeiten,* în *Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher,* 1955.

— Einstein, A. /9/, *Einleitende Bemerkungen über Grundbegriffe,* în *Louis de Broglie. Physicien et penseur,* 1953.

— Einstein, A. /10/, *Lettres à Maurice Solovine,* Paris, Gauthier-Villars, 1956.

— Einstein, A. /11/, în *Schrödinger, Planck, Einstein, Lorentz, Briefe zur Wellenmechanik,* (Hrsg.) K. Prizbram, Wien, Springer Verlag, 1963.

— Einstein, A. /12/, *Correspondence avec M. Besso,* 1903—1955, traduction, notes et introduction de P. Speziali, Paris, Hermann, 1972.

— Einstein, A., Infeld, L., *Evoluția fizicii,* București, Editura tehnică, 1957.

— Engels, Fr., *Dialectica naturii,* în K. Marx, Fr. Engels, *Opere,* vol. 20, București, Editura politică, 1964.

— Erlichson, A., *Einstein and the Einstein-Podolsky-Rosen Criterior of Reality,* în „American Journal of Physics", vol. 40, febr. 1972.

— d'Espagnat, B. /1/, *Conceptions de la physique contemporaine. Les interprétations de la mécanique quantique et de la mesure,* Paris, Hermann, 1965.

— d'Espagnat, B. /2/, *Letter to the Participants*, în B. d'Espagnat (ed.) *Foundations of Quantum Mechanics*, 1971.

— d'Espagnat, B. /3/, *Quantum Logic and Nonseparability*, în J. Mehra (ed.), *The Physicist's Conception of Nature*, Reidel, 1973.

— d'Espagnat, B. /4/, *The Quantum Theory and Reality*, „Scientific American", vol. 241, n. 5, 1979.

— d'Espagnat, B. /5/, *À la recherche du reel. Le regard d'un physicien*, Paris, Gauthier-Villars, 1979.

— d'Espagnat, B. /6/, *Réponse à Henri Barreau*, în „Revue de Metaphysique et de Morale", 86-ème année, no. 3, 1981.

— Feyerabend, P. K., *Valabilitatea limitată a regulilor metodologice*, în I. Pârvu (ed.) *Istoria științei și reconstrucția ei conceptuală. Antologie*, București, Editura științifică și enciclopedică, 1981.

— Feynman, R. P. /1/, *The Value of Science*, în A. B. Arons, A. M. Bork (eds.), *Science and Ideas*, Prentice-Hall, Inc. 1964.

— Feynman, R. P. /2/, *Fizica modernă. Mecanică, radiație, căldură* (1963), București, Editura tehnică, 1969.

— Feynman, R. P. /3/, *La nature des lois physiques* (1965), Paris, R. Laffont, 1970.

— Feynman, R. P. /4/, *Structure of the Proton*, în „Science", vol. 183, p. 4125, 1974.

— Flonta, M. /1/, *Istoria tradițională și istoria modernă a științei*, în „Revista de Filozofie", nr. 3, 1981.

— Flonta, M. /2/, *The Context of Discovery and the Context of Justification : a Critical Appraisal in a Historical View*, în „Rev. Roum. Sci. Soc., Phil. Log.", nr. 3—4, 1981.

— Flonta, M. /3/, *Raționalitate științifică ; o apreciere critică a concepției curente din perspectiva controverselor asupra fundamentelor unei discipline științifice*, în „Analele științifice ale Universității Al. I. Cuza din Iași", Supliment la tomul XXIX, secția III b, Filosofie, vol. I, 1983.

— Flonta, M. /4/, *Revoluția modernă din fizică și ideea relativității cunoașterii științifice la V. I. Lenin*, în *Istoria dialecticii materialiste* (în curs de apariție).

— Fok, V. A. /1/, *Despre interpretarea mecanicii cuantice* (1959), în *Dialectica marxistă și științele moderne*, vol. II, București, Editura politică, 1960.

— Fok, V. A. /2/, *La physique quantique et les idealisations classiques*, în „Dialectica", vol. 14, n. 3—4, 1965.

— Frank, Ph. /1/, *The Importance of Ernst Mach's Philosophy of Science for our Times* (1917), în *Ernst Mach, Physicist and Philosopher*, 1970.

— Frank, Ph. /2/, *A. Einstein, Sein Leben und seine Zeit* (1949), Braunschweig, Wiesbaden, Vieweg, 1979.

— Fritzsch, H., *Quarks. Urstoff unserer Welt*, München, Zürich, Piper Verlag, 4 überarbeitete Auflage, 1982.

— Gell-Man, M., *What are the Buldings Bloks of Matter ?*, în D. Huff, O. Prewett (eds.), *The Nature of the Physical Universe*, New York, John Willey and Sons, 1979.

— Gillispie, Ch. C. /1/, *The Edge of Objectivity,* Princeton, Princeton University Press, 1960.

— Gillispie, Ch. C. /2/, *Elements of Physical Idealism*, în *Mélanges Alexandre Koyré,* vol. II, Paris, Hermann, 1964.

— Gonseth, F., *Philosophie des sciences : vue d'ensemble,* în R. Klibansky (ed.), *Philosophy in the Mid-Century,* 1967.

— Grecu, C., *Philosophical Presuppositions of Science,* în „Rev. Roum. Sci. Soc., Phil. Log.", nr. 2—3, 1983.

— Gregory, Fr., *Scientific Materialism in Nineteenth Century Germany,* D. Reidel, 1977.

— Hall. A. R., *The Scientific Revolution 1500—1800,* London, New York, Toronto, Longmans, Green and Co., 1959.

— Heisenberg, W. /1/, *Principiile fizice ale teoriei cuantelor* (1930), București, Editura științifică, 1969.

— Heisenberg, W. /2/, *Zur Geschichte der physikalischen Naturerklärung,* în „Sächsische Berichte", 25, 1933.

— Heisenberg, W. /3/, *Das Naturbild der heutigen Physik,* Hamburg, Rowohlt, 1955.

— Heisenberg, W. /4/, *Die Entwicklung der Deutung der Quantentheorie* (1956), in L. Krüger (Hrsg.), *Erkenntnisprobleme der Naturwissenschaften,* Köln-Berlin, Kiepenhauer und Witsch, 1970.

— Heisenberg, W. /5/, *Physics and Philosophy. The Revolution in Modern Science,* New York, Harper & Brothers Publishers, 1958.

— Heisenberg, W. /6/, *Descoperirea lui Planck și problemele filosofice fundamentale ale teoriei atomului* (1958), în W. Heisenberg, *Pași peste granițe,* București, Editura politică, 1977.

— Heisenberg, W. /7/, Discuții pe marginea conferinței *Planck's Discovery and the philosophical Problem of the Atom Physics* (4 sept. 1958), în *Modern Physics,* Clarkson W. Potter, Inc. Publisher, 1961.

— Heisenberg, W. /8/, *Préface* la *Max Born, Hedwig Born, Albert Einstein Correspondence 1916—1955,* 1972.

— Heisenberg, W. /9/, *Der Teil und des Ganze, Gespräche im Umkreis der Atomphysik,* München, R. Piper & Co Verlag, 1969.

— Heisenberg, W. /10/, *Developments of Concepts in the History of Quantum Theory,* în J. Mehra (ed.) *The Physicist Conception of Nature,* 1973.

— Heisenberg, W. /11/, *Tradition in der Wissenschaft* (1973), în W. Heisenberg, *Tradition in der Wissenschaft. Rede und Aufsätze,* München, Piper Verlag 1977.

— Heisenberg, W. /12/, *Die Rolle der Elementarteilchen-Physik in der gegenwärtigen Entwicklung der Naturwissenschaft* (1974), în *Tradition in der Wissenschaft,* 1977.

— Heisenberg, W. /13/, *Kosmische Strahlung und fundamentale Problemen in der Physik* (1975), în *Tradition in der Wissenschaft,* 1977.

— Heisenberg, W. /14/, *Was ist ein Elementarteilchen?* (1976), în *Tradition in der Wissenschaft,* 1977.

— Heisenberg, W. /15/, *Die Anfänge der Quantenmechanik in Göttingen* în *Tradition in der Wissenschaft,* 1977.

— Heitler, W., *The Departure from Classical Thought in Modern Physics,* în P. A. Schilpp (ed.), *Albert Einstein: Philosopher-Scientist,* 1949.

— von Helmholtz, H. /1/, *Über Goethe's naturwissenschaftliche Arbeiten* (1853), în H. v. Helmholtz, *Vorträge und Reden,* Braunschweig, Vieweg und Sohn, vol. I, 1884.

— von Helmholtz, H. /2/, *Über das Verhältnis der Naturwissenschaften zur Gesamtheit der Wissenschaft,* H. v. Helmholtz, *Vorträge und Reden,* vol. I, 1884.

— von Helmholtz, H. /3/, *Über das Ziel und die Fortschritte der Naturwissenschaft* (1869), H. v. Helmholtz, *Voträge und Reden,* vol. I, 1884.

— von Helmholtz, H. /4/, *Die Tatsachen in der Wahrnehmung* (1878), în H. v. Helmholtz, *Voträge und Reden,* vol. II 1884.

— von Helmholtz, H. /5/, *Über das Streben nach Popularisierung der Wissenschaft* (1874), în H. v. Helmholtz, *Voträge und Reden,* vol. II, 1884.

— Hendrick, R. E., Murphy, A., *Atomism and the Illusion of Crisis: The Danger of Applying Kuhnian Categories to Current Particle Physics,* în „Philosophy of Science“, vol. 48. n. 3, 1981.

— Henning, H., *Ernst Mach als Philosoph, Physiker und Psycholog,* Verlag J. A. Barth, Leipzig, 1915.

— Hermann, A. /1/, *Frühgeschichte der Quantentheorie* (1899—1913), Mosbach in Baden, Physik Verlag, 1969.

— Hermann, A. /2/, *Dynamismus und Atomismus — die beiden Systeme der Physik in 1 Hälfte des 19 Jahrhunderts,* în „Erkentnis“, 10, 1976.

— Hermann, A., Meyenn, K., Weiskopf V. (Hrsg.), *Wolfgang Pauli. Wissenschaftlicher Briefwechsel mit Bohr, Einstein, Heisenberg u.a.,* New York, Heidelberg, Berlin, Springer Verlag, 1979.

— Herneck, Fr., *Über eine unveröfentlichte Selbstbiographie Ernst Machs,* în „Wissenschaftliche Zeitschrift der Humboldt-Universität zu Berlin“, Jahrgang VI, 1956/57, Heft 3.

— Holton, G. /1/, *On the thematic Analysis of Science: the Case of Poincaré and Relativity,* în *Mélanges Alexandre Koyré,* vol. II, 1964.

— Holton, G. /2/, *Unde este realitatea? Răspunsurile lui Einstein* (1967), în *Știință și sinteză,* București, Editura politică, 1969.

— Holton, G. /3/, *The Roots of Complementarity,* în "Dedalus", Fall, 1970.

— Holton, G. /4/, *The Scientific Imagination. Cases Studies,* London, New York, Cambridge University Press, 1978.

— Holton, G., Roller, D. H. D., *Foundations of Modern Physical Science,* Reading, Mass., Adisson-Wesley, 1958.

— Jacob, M., Landshoff, P., *The Inner Structure of the Proton*, în "Scientific American", vol. 242, n. 3, 1980.

— Jammer, M. /1/, *The Conceptual Development of Quantum Mechanics*, New York, McGrow-Hill Book Company, 1966.

— Jammer, M. /2/, *The Philosophy of Quantum Mechanics. The Interpretations of Quantum Mechanics in Historical Perspective*, New York, London, John Willey and Sons, 1974.

— Jammer, M. /3/, *Albert Einstein und das Quantenproblem*, în *Einstein Symposium, Berlin*, 1979.

— Janich, P., *Die erkenntnistheoretischen Quellen Einstein's*, în *Einstein Symposium, Berlin*, 1979.

— Jost, R., *Boltzmann und Planck. Die Krise der Atomismus um die Jahrhundertwende und Ihre Überwindung durch Einstein*, în *Einstein Symposium, Berlin*, 1979.

— Kanitscheider, B., *Einstein Behandlung theoretischen Grössen*, în P. C. Aichelburg, R. U. Sexl (Hrsg.), *Albert Einstein. Sein Einfluss auf Physik, Philosophie und Politik*, Braunschweig, Wiesbaden, Vieweg, 1979.

— Kearney, H., *Science and Change 1500—1700*, New York, Toronto, McGrow-Hill, 1971.

— Kleinert, A., *Nationalistische und Antisemitische Ressentiments von Wissenschaftlern*, în *Einstein Symposium, Berlin*, 1979.

— Kirchhoff, G., *Vorlesungen über mathematische Physik* (1876), zweite Auflage, Leipzig, B. L. Teubner, 1877.

— Kording, C. R., *The Justification of Scientific Change*, D. Reidel, 1972.

— Körber, H. G. (Hrsg.), *Aus dem wissenschaftlichen Briefwechsel Wilhelm Ostwalds*, Berlin, Akademie Verlag, 1962.

— Körner, St., *Discussion*, în *Observation and Interpretation in the Philosophy of Physics*, 1957.

— Koyré, Al. /1/, *Études galiléennes* (1939), Paris, Hermann, 1966.

— Koyré, Al. /2/, *Galilei şi Platon* (1943), în *Istoria ştiinţei şi reconstrucţia ei conceptuală*, 1981.

— Koyré, Al. /3/, *De l'influence des conceptions philosophiques sur l'évolution des théories scientifiques* (1954), în Al. Koyré, *Études d'histoire de la pensée philosophique*, Paris, Gallimard, 1973.

— Koyré, Al. /4/, *Galilée et la révolution scientifique du XVII-ème siècle* (1955), în Al. Koyré, *Études d'histoire de la pensée scientifique*, 1973.

— Koyré, Al. /5/, *Études newtoniennes* (1964), Paris, Gallimard, 1968.

— Kuhn, Th. S. /1/, *Structura revoluţiilor ştiinţifice* (1962), Bucureşti, Editura ştiinţifică şi enciclopedică, 1976.

— Kuhn, Th. S. /2/, *Prefaţă* la *Tensiunea esenţială. Studii despre tradiţie şi schimbare în ştiinţă*, (1977), Bucureşti, Editura ştiinţifică şi enciclopedică, 1982.

— Kuhn, Th. S. /3/, *Istoria ştiinţei* (1968), în *Tensiunea esenţială*, 1982.

— Kuhn, Th. S. /4/, *Black Body Theory and the Quantum Discontinuity 1894—1912*, New York, Oxford University Press, 1978.

— Kuznețov, B. G. /1/, *Galilée*, Moscou, Editions Mir, 1973.

— Kuznețov, B. G. /2/, *Rațiune și ființare. Studii despre raționalismul clasic și știința neclasică*, București, Editura politică, 1979.

— Landé, A. /1/, *From Dualism to Unity in Quantum Physics*, Cambridge, Cambridge University Press, 1960.

— Landé, A. /2/, *The Non-Quantal Foundations of Quantum Mechanics*, în W. Yourgrau, A. D. Breck (eds.), *Physics, Logic and History*, New York, London, Plenum Press, 1970.

— Laudan, L. /1/, *Ernst Mach's Opposition to Atomismus* (1976). în L. Laudan, *Science and Hypothesis. Historical Essays on Scientific Methodology*, D. Reidel, 1981.

— Laudan, L. /2/, *Progress and its Problems. Toward a Theory of Scientific Growth*, Berkeley, Los Angeles, London, University of California Press, 1977.

— von Laue, M. /1/, *Über Heisenbergs Ungenanigkeitsbeziehungen und ihre erkenntnisteoretische Bedeutung*, in „Die Naturwissenschaften", Heft 26, 29.6.1934.

— von Laue, M. /2/, *Istoria fizicii* (1947), București, Editura științifică și enciclopedică, 1965.

— Lektorski, V., *On the Change of the Interrelations between Science and Epistemology of Science in the Process of their Historical Development*, în L. J. Cohen, J. Lós, H. Pfeiffer, K. P. Podewski (eds.), *Logic, Methodology and Philosophy of Science VI*, Warszawa, Polish Scientific Publishers, 1982.

— Lenin, V. I. /1/, *Materialism și Empiriocriticism*, în *Opere*, vol. 18, București, Editura Politică, 1963.

— Lenin, V. I. /2/, *Caiete filosofice*, în *Opere*, vol. 29, București, Editura Politică, 1966.

— Lewis, C. I., *A Pragmatic Conception of the A Priori* (1923), în *Collected Papers of Clarence Irving Lewis*, Stanford, Stanford University Press, 1970.

— Lindsay, R. D., *The Nature of Physics*, Rhode Island, Brown University Press, 1968.

— Ludwig, G /1/, Zur *Deutung der Beobachtung in der Quantenmechanik* (1955), în L. Krüger (Hrsg.), *Erkenntnisprobleme der Naturwissenschaften*, 1970.

— Ludwig, G. /2/, *The Measuring Process and an Axiomatic Foundation of Quantum Mechanics*, în B. d'Espagnat (ed.), *Foundations of Quantum Mechanics*, 1971.

— Ludwig, G. /3/, *Why a New Approach to found Quantum Theory?*, in J. Mehra (ed.), *The Physicist's Conception of Nature*, 1973.

— Mach, E. /1/, *Die ökonomische Natur der physikalischen Forschung* (1882), în E. Mach, *Populär Wissenschaftliche Vorlesungen*, 3 vermehrte und durchgesehene Auflage, Leipzig, Verlag von Ambrosius Barth, 1903.

— Mach, E. /2/, *Über Umbildung und Anpassung im naturwissenschaftlichen Denken*, în *Populär Wissenschaftliche Vorlesungen*, 1903.

— Mach, E. /3/, *Die Mechanik in ihrer Entwicklung historisch kritisch dargestellt* (1883), sechste verbesserte und vermehrte Auflage, Leipzig, F. A. Brockhaus, 1908.

— Mach, E. /4/, *Die Analyse der Emfindungen und das Verhältnis des Physischen zur Psychischen* (1886), fünfte vermehrte Auflage, Verlag von Gustaw Fischer in Jena, 1906.

— Mach, E. /5/, *Das Prinzip der Vergleichung in der Physik* (1894), în E. Mach, *Populär Wissenschaftliche Vorlesungen*, 1903.

— Mach, E. /6/, *Die Prinzipien der Wärmelehre. Historisch kritisch entwickelt* (1896), Leipzig, J. A. Barth, 1900.

— Mach, E. /7/, *Erkenntnis und Irrtum, Skizzen zur Psychologie der Forschung*, Leipzig, J. A. Barth, 1905.

— Mach, E. /8/, *Die Leitgedanken meiner naturwissenschaftlicher Erkenntnislehre und ihre Aufnahme durch die Zeitgenossen* (1910), Leipzig, J. A. Barth, 1919.

— Mackinnon, E., *The Discovery of a New Quantum Theory*, în Th. Nikels (ed.), *Scientific Discovery : Case Studies*, D. Reidel, 1980.

— Margenau, H., *Metaphysical Elements in Physics*, în H. Margenau, *Physics and Philosophy. Selected Essays*, D. Reidel 1978.

— Marx, K., *18 Brumar al lui Ludovic Bonaparte*, în K. Marx, Fr. Engels, *Opere*, vol. 8, București, Editura politică, 1960.

— Melcher, H., *Albert Einstein wider Vorurteile und Denksgewonheiten*, Berlin, Akademie-Verlag, 1979.

— Merton, R., *Science and Democratic Social Structure* (1942), în R. Merton, *Social Theory and Social Structure*, New York, The Free Press, 1968, enlarged Edition.

— von Meyenn, K., *Einstein Diallog mit Kollegen*, în *Einstein Symposium, Berlin*, 1979.

— Mikulinsky, S. R., *Starea actuală și problemele teoretice ale istoriei științei ca știință*, în *Istoria științei și reconstrucția ei conceptuală*, 1981.

— Moisil, Gr., *Îndoieli și certitudini*, Ed. a II-a, București, Editura enciclopedică română, 1974.

— Omeleanowski, M. E., *Dialectica și fizica modernă* (1973), București, Editura politică, 1982.

— Ostwald, W. /1/, *Die Ueberwindung des wissenschaftlichen Materialismus*, în „Zeitschrift für Physikalische Chemie", Bd. 18, 1895.

— Ostwald, W. /2/, *Elektrochemie. Ihre Geschichte und Ihre Lehre*, Leipzig, Verlag von Veit & Comp., 1896.

— Ostwald, W. /3/, *Vorlesungen über Naturphilosophie*, Leipzig, Verlag von Veit & Comp., 1902.

— Ostwald, W. /4/, *Esquisse d'une philosophie des sciences* (1908), Paris, F. Alcan, 1911.

— Ostwald, W. /5/, *L'Energie*, Paris, F. Alcan, 1910.

— Ostwald, W. /6/, *Lebenslinien. Eine Selbstbiographie*, Bd. II. Berlin, Verlag Klasing, 1933.

— Pârvu, I. /1/, *Existență și realitate în știință și filosofie*, București, Editura politică, 1977.

— Pârvu, I. /2/, *Revoluția istoriografică contemporană în studiul științei — aspecte teoretice și epistemologice*, în *Istoria științei și reconstrucția ei conceptuală*, 1981.

— Pauli, W. /1/, *The Concept of Complementarity*, în „Dialectica", vol. 2, n. 3—4, 1948.

— Pauli, W. /2/, *Einstein's Contributions to Quantum Theory*, în *Albert Einstein : Philosopher-Scientist*, 1949.

— Pauli, W. /3/, *Remarques sur le problème des paramètres cachés dans la méchanique quantique et sur la théorie de l'onde pilote*, în *Louis de Broglie. Physicien et penseur*, 1953.

— Petersen, A. /1/, *The Philosophy of Niels Bohr*, în "Bulletin of the Atomic Scientists", sept. 1963.

— Petersen, A. /2/, *On the Philosophycal Signifiance of the Correspondence Argument*, în *Boston Studies in the Philosophy of Science*, vol. V, Reidel, 1969.

— Pinch, T. J., *What does a Proof do if it does not prove ?*, în E. Mendelsohn, P. Weingart, R. Whitley (eds.), *The Social Production of Scientific Knowledge*, Reidel, 1977.

— Planck, M. /1/, *Gegen die neuere Energetik*, „Wiedemann Annalen", 57, 82, 1896.

— Planck, M. /2/, *Die Einheit der physikalischen Weltbild* (1908), în M. Planck, *Wege zur physikalischen Erkenntnis*, dritte Auflage, Bd. I, Leipzig, Verlag S. Hirzel, 1943.

— Planck, M. /3/, *Die Stellung der neueren Physik zur mechanischen Naturanschaung* (1910), în M. Planck, *Wege zur physikalischen Erkenntnis*, Bd. II, 1943.

— Planck, M. /4/, *Zur Machschen Theorie der physikalischen Erkenntnis. Eine Erwiderung*, „Vierteljahrschrift für wissenschaftliche Philosophie und Soziologie", XXXIV, 4, 1910.

— Planck, M. /5/, *Neue Bahnen der physikalischen Erkenntnis* (1913), în *Wege zur physikalischen Erkenntnis*, Bd. I, 1943.

— Planck, M. /6/, *Verhältnis der Theorien zueinander* (1915), în M. Planck, *Wege zur physikalischen Erkenntnis*, Bd. II, 1943.

— Planck, M. /7/, *Von Relativen zum Absoluten* (1924), în M. Planck, *Wege zur physikalischen Erkenntnis*, Bd. I, 1943.

— Planck, M. /8/, *Das Weltbild der neuen Physik* (1929), Leipzig, Verlag J. A. Barth, 1939.

— Planck, M. /9/, *Positivismus und reale Aussenwelt* (1930), în *Wege zur physikalischen Erkenntnis*, Bd. I, 1943.

— Planck, M. /10/, *Geleitwort* (1933), în *Wege zur physikalischen Erkenntnis*, Bd. I, 1943.

— Planck, M. /11/, *Ursprung und Auswirkung wissenschaftlicher Ideen* (1933), în *Wege zur physikalischen Erkenntnis*, Bd. I, 1943.

— Planck, M. /12/, *Die Physik im Kampf um die Weltanschauung* (1935), ,în *Wege zur physikalischen Erkenntnis*, Bd. II, 1943.

— Planck, M. /13/, *Wissenschaftliche Selbstbiographie*, 3 Auflage, Leipzig, J. A. Barth, 1955.

— Popper, K. R. /1/, *Logica cercetării* (1934), București, Editura științifică și enciclopedică, 1981.

— Popper, K. R. /2/, *Three Views concerning Human Knowledge* (1956), în *Conjectures and Refutations*, London, Routledge and Kegan Paul, 1963.

— Popper, K. R. /3/, *The Propensity Interpretation of the Calculus of Probability and the Quantum Mechanics* (1957), în *Observation and Interpretation in the Philosophy of Physics*, 1957.

— Popper, K. R. /4/, *Despre utilizarea corectă și incorectă a experimentelor imaginare, în special în teoria cuantică* (1959), în K. R. Popper, *Logica cercetării*, 1981.

— Popper, K. R. /5/, *Quantum Mechanics without "The Observer"*, în M. Bunge (ed.), *Quantum Theory and Reality*, Berlin, Heidelberg, New York, Springer Verlag, 1967.

— Popper, K. R. /6/, *Autobiography*, în P. A. Schilpp (ed.), *The Philosophy of Karl Popper*, vol. I, La Salle, Illinois, Open Court, 1974.

— Popper, K. R. /7/, *Quantum Theory and the Schism of Physics, Postcriptum to the Logic of Scientific Discovery*, vol. III, Totowa, New Jersey, Rowman and Littlefield, 1982.

— Putnam, H. /1/, *Discussion: Comments on Comments: a Reply to Margenau and Wigner* (1964), în H. Putnam, *Mathematics, Matter and Method, Philosophical Papers*, vol. I, Cambridge, Cambridge University Press, 1979.

— Putnam, H. /2/, *A Philosopher looks at Quantum Mechanics* (1965), în *Mathematics, Matter and Method*, 1979.

— Putnam, H. /3/, *Philosophy of Physics*, în *Mathematics, Matter and Method*, 1979.

— Răduleț, R. /1/, *Noile progrese ale științelor fizico-chimice și categoria de lege* (1963), în *Materialismul dialectic și științele moderne*, vol. IV, București, Editura politică, 1964.

— Răduleț, R. /2/, *La causalité, principe directeur de la découverte dans les sciences positives*, în *Recherches sur la philosophie des sciences*, Bucarest, Editions de l'Academie, 1971.

— Richter, St., *Die „Deutsche Physik"*, în H. Mehrtens, St. Richter (Hrsg.), *Naturwissenschaft, Technik und NS-Ideologie*, Frankfurt am Main, Suhrkamp, 1980.

— Romer, A., *How to chose a Theory: Science for Nonscientists*, în "American Journal of Physics", vol. 41, aug. 1973.

— Rosen, N., *Kann man die quantenmechanische Beschreibung der physikalischen Wirklichkeit als vollständig betrachten?*, în *A. Einstein. Sein Einfluss auf Physik, Philosophie und Politik*, 1979.

— Rosenfeld, L. /1/, *L'évidence de la complementarité*, în *Louis de Broglie. Physicien et penseur*, 1953.

— Rosenfeld, L. /2/, *Strife about Complementarity,* în ”Science Progress“, vol. XVI, n. 163, 1953.

— Rosenfeld, L. /3/, *Misunderstandings about the Foundations of Quantum Theory,* în *Observation and Interpretation in the Philosophy of Physics,* 1957.

Săhleanu, V., *Arta rece și știința fierbinte,* București, Editura Cartea românească, 1972.

— Scheffler, J., *Wissenschaft : Wandel und Objektivität* (1967), în W. Diedrich (Hrsg.), *Theorien der Wissenschaftsgeschichte,* Frankfurt am Main, Suhrkamp, 1974.

— Scheibe. E., *Objektivität und Beobachter in der Quantenphysik. Einführung,* în *Erkenntnisprobleme der Naturwissenschaften,* 1970.

— Schrader-Frechette, K. S. /1/, *Atomismus in Crisis : An Analysis of the current high Energy Paradigm,* în “Philosophy of Science“, vol. 44, n. 3, 1977.

— Schrader-Frechette, K. S. /2/, *Recent Changes in the Concept of Matter : how does ”Elementary Particle“ mean ?,* în P.S.A., vol. 1, Reidel, 1980.

— Schrödinger, E. /1/, *Die Grundgedanke der Wellenmechanik* (1932), în *Die moderne Atomtheorie,* Leipzig, Verlag Hirzel, 1933.

— Schrödinger, E. /2/, *Die gegenwärtige Situation in der Quantenmechanik,* în „Die Naturwissenschaften“, Heft 48, 49, 50, Nov-Dec., 1935.

— Schrödinger, E. /3/, *Die Besonderheit des Weltbildes der Naturwissenschaft,* în „Acta Physica Austriaca“, Bd. I, Heft 3, Wien, Springer Verlag, 1948.

— Schrödinger, E. /4/, *Science et humanisme. La physique de notre temps* (1951), Desclée de Brouwer, 1954.

— Schrödinger, E. /5/, *The Meaning of Wave Mechanics,* în *Louis de Broglie. Physicien et penseur,* 1953.

— Schrödinger, E. /6/, în *Planck, Schrödinger, Einstein, Lorentz. Briefe zur Wellenmechanik,* 1963.

— Shankland, R. S., *Conversations with Albert Einstein II,* în „American Journal of Physics“, 7, vol. 41, July 1973.

— Shapere, D. /1/, *Galileo. A Philosophical Study,* Chicago, The University of Chicago Press, 1974.

— Shapere, D. /2/, *The Scope and Limits of Scientific Change,* în *Logic, Methodology and Philosophy of Science VI,* 1982.

— Shimony, A. /1/, *Experimental Test of the Hidden-Variable Theories,* în B. d'Espagnat (ed.), *Foundations of Quantum Mechanics,* 1971.

— Shimony, A. /2/, *Phylosophical Comments of Quantum Mechanics,* în *Foundations of Quantum Mechanics,* 1971.

— Shimony, A. /3/, *Metaphysical Problems in the Foundations of Quantum Mechanics,* în „International Philosophical Quarterly“, vol. XVIII, n. 1, martie, 1978.

— Snow, C. P., *Einstein,* în *Einstein : The First Hundred Years,* 1980.

— Sofonea, L., *Istoria conceptuală a fizicii*, vol. I, Braşov, Universitatea din Braşov, 1981.

— Sommerfeld, A., *To Albert Einstein's Seventieth Birthday*, în *Albert Einstein. Philosopher-Scientist*, 1949.

— Stallo, J. B., *La matière et la physique moderne*, Paris, F. Alcan, 1884. (Originalul este intitulat *The Concepts and Theories of Modern Physics*, New York, Appelton and Co, 1891.)

— Stapp, H. P., *The Copenhagen Interpretation*, în "American Journal of Physics", 8, vol. 40, aug. 1972.

— Terleţki, J. P., *Despre generalizarea şi interpretarea neliniară a mecanicii cuantice*, în *Dialectica marxistă şi ştiinţele moderne*, vol. II, Bucureşti, Editura politică, 1960.

— Thomson, G., *Inspiraţie şi descoperire* (1967), Bucureşti, Editura enciclopedică, 1971.

— Ţiţeica, S., *Physique atomique et déterminisme* (1940), în *Recherches sur la philosophie des sciences*, 1981.

— Tonnelat, M. A., *Louis de Broglie şi mecanica ondulatorie* (1966), Bucureşti, Editura ştiinţifică, 1969.

— Tonoiu, V., *Dialectică şi relativism. Ideea de referenţial*, Bucureşti, Editura ştiinţifică şi enciclopedică, 1978.

— Toró, T., *Fizică modernă şi filosofie*, Timişoara, Editura Facla, 1973.

— Toulmin, St. /1/, *Voraussicht und Verstehen. Ein Versuch über die Ziele der Wissenschaft* (1962), Frankfurt am Main, Suhrkamp Verlag, 1968.

— Toulmin, St. /2/, *Human Understanding*, vol. I, Princeton, New Jersey, Princeton University Press, 1972.

— Treder, H. J., *Albert Einstein an der Berliner Akademie der Wissenschaften*, în *Albert Einstein in Berlin 1913—1933*, Berlin, Akademie Verlag, 1979.

— Vigier, J. P. /1/, *Discussion*, în *Observation and Interpretation in the Philosophy of Physics*, 1957.

— Vigier, J. P. /2/, *Teoria nivelelor şi dialectica naturii* (1961), în *Dialectica marxistă şi ştiinţele moderne*, vol. III, Bucureşti, Editura politică, 1963.

— Vogel, H., *Zum philosophischen Wirken Max Plancks. Seine Kritik am Positivismus*, Berlin, Akademie Verlag, 1961.

— Voigt, W., *Phänomenologische und atomistische Betrachtungsweise*, în *Physik*, unter Redaction von E. Warburg, 1915.

— Weisskopf, V. F. /1/, *La physique du XX-ème siècle* (1972), Editions mondiales, 1974.

— Weisskopf, V. F. /2/, *What is an Elementary Particle?*, în *The Nature of the Physical Universe*, 1979.

— Wenzl, A., *Das Verhältnis der einsteinschen Relativitätslehre zur Philosophie der Gegenwart*, München, Rösl & C^{ie}-Verlag, 1924.

— Wigner, E., *The Subject of our Discussions*, în B. d'Espagnat (ed.), *Foundations of Quantum Mechanics*, 1971.

— v. Weizsäcker, C. Fr. /1/, *Die Einheit der Natur,* München, Carl Hanser Verlag, 1971.

— v. Weizsäcker, C. Fr. /2/, *Einstein und Bohr. Der Streit um den Realitätbegriff des Physikers,* în C. Fr. v. Weizsäcker, *Voraussetzungen des naturwissenschaftlichen Denkens,* München, Carl Hanser Verlag, 1971.

— v. Weizsäcker, C. Fr. /3/, *Einsteins Bedeutung in Physik, Philosophie und Politik,* în *A. Einstein. Sein Einfluss auf Physik, Philosophie und Politik,* 1979.

— Zahar, E., *Mach, Einstein and Rise of Modern Science.* în „British Journal for the Philosophy of Science", vol. 28, n. 3, 1977.

PHILOSOPHICAL OUTLOOK AND SCIENTIFIC REASON. PHILOSOPHICAL PRESUPPOSITIONS IN EXACT SCIENCE

SUMMARY

The impact of philosophical ideas on scientific thinking can be examined from various points of view. A scientist depends on his philosophy when he judges the general significance of recent theoretical breakthroughs and when he establishes both his lines of research and the higher aims of his activity. We must admit however that the hard core of a theoretical scientist's philosophy consists of the representations and criteria he uses in making professionally vital choices and judgements, specifically such as cannot be tested and ascertained by applying standard methods of a technical nature. The more creative, independent and routine-free a scientist's work is, the more opportunities he has for such choices and assessments. When compelling arguments, mathematical or experimental, can no longer give pioneer scientists clear, unequivocal indications regarding the ways they should take and the aims they should aspire to, what, besides their philosophy, could account for their often categorical and highly consistent options?

Experience and insight are said to dictate a scientist's choice in such a situation. Quite often however these terms designate nothing but his latent philosophy. A scientist's *experience* includes primarily lessons — seldom explicitly formulated — derived through independent reflection on problematic research situations, which occurred in the more distant past or which he himself has met with. On the other hand, what we call his *insight* is a preference, a bias springing from strong, even though dim, beliefs about what matters most for the advancement of scientific knowledge, about the general conditions to be met by the solutions proposed when the relevant research situation bears a loose analogy with past situations. The spontaneous philosophical inclinations which determine, like a strong undercurrent, the thinking and behaviour of the scientist in normal times and in exceptional, critical periods can and should be systematically elaborated up to the dimensions of a philosophical programme. Quite a few prominent scientists undertook to work out such programmes. Nevertheless their philosophical reflections have only seldom provided a complete explanation and a satisfactory justification of their scientific ideals, their criteria of scientific excellence, and of the strategic directions separating them from other scientists — their contemporaries or predecessors. For various reasons, much of the

philosophy of the greatest theoretical scientists may remain unwritten, and it has remained so.

This book purposes to point out, in a sequence of historical case studies, philosophical patterns that have induced major lines of thought and trends in modern physics. Articulated theories of physical knowledge, general conceptions of the goals of theoretical knowledge and ways of expanding this knowledge, constructed primarily with a view to providing controversial research programmes with a philosophical support, are considered. The main purpose however is to highlight less visible philosophical stimuli of scientific theorization. The strategic direction of a theoretician's work often depends not on elaborate conceptions of the nature and sense of physical knowledge, but on deeply rooted intuitions and inclinations, which may be called *philosophical presuppositions* or *philosophical prejudices.* Basic standards in describing phenomena, criteria of scientific understandability and of the relevance of theoretical explanations, seldom fully articulated, which frequently guide a theoretical physicist's judgement and choices, have both scientific and philosophical significance. Many times they are closely interwoven with technical elements in the construction of the edifice of exact natural science. To point out the close association of the philosophical and technical components in the scientist's thinking and assessments, to find out general epistemological implications and consequences of this correlation are the principal objectives of this book. The stress is on the internal philosophical dimension of theoretical thinking. Historical studies suggest that, contrary to a superficial impression, this dimension does not decrease, but grows during the historical development of exact natural science.

The *Introduction* offers a sketchily account of a deeply rooted current view on the objectivity of scientific knowledge. At the core of this view lies the assumption that a scientist's professional judgement, and scientific evaluation in general, is neutral in relation to philosophical options and biases. It is assumed that, in a mature natural science at least, any theoretical controversy will be settled on the basis of objective criteria. At the same time it is suggested that a careful examination of the source of disagreement will eventually produce cogent arguments for all competent persons. The epistemological distinction between *the context of discovery* and *the context of justification* may be regarded as a philosophical elaboration of the current view that scientific value can be ascertained independently of all philosophical presuppositions, and in particular of a scientist's philosophical bias. Certain non-cumulattivistic and relativistic trends in the modern history of science are then considered, which aim at undermining this widespread view on the objectivity of scientific knowledge. The works of Al. Koyré, Th. S. Kuhn and G. Holton in particular, as well as ideas independently put forward by the Romanian philosopher Lucian Blaga converge towards bringing to light a philosophical understructure proper to the great theories in exact sciences.

The historical studies included in the two parts of the book aim at highlighting significant elements in the philosophical background of modern physical thinking and at determining both the justification and the limited validity of the current view of scientific objectivity.

The first part begins by examining the philosophical presuppositions of the mechanistic programme as formulated by H. von Helmholtz and other prominent physicists in the second half of the 19th century. Beyond its declared principle — all physical processes can be reduced to mechanical movements of material particles or of a continuous material medium — this programme includes in its substance a more general philosophical idea, which frequently has the status of a tacit presupposition. I have called it *essentialism* in order to mark its opposition to the standpoint of the phenomenalistic theory of physical knowledge. In contradistinction to the *phenomenalist*, the *essentialist* physicist believes that a genuine physical explanation should be formulated in terms of physical entities and interactions that are not directly accessible to observation. The theory of physical knowledge put forward by E. Mach and W. Ostwald, and by energetics in general, is described as a direct antithesis to both the reductionist principle of mechanism and its essentialistic philosophical supposition. The significance of the confrontation between the essentialistic thesis and the phenomenalistic one for the guidance of physical research is examined especially with reference to the controversies generated by the development of the kinetic theory of gases, the atomistic interpretation of the second law of thermodynamics, and atomistic hypotheses in general in the late 19th and early 20th century. L. Boltzmann's position may be regarded as a defence of atomism, and hence of the essentialistic assumptions of the mechanistic programme, by means of pragmatic arguments. On the other hand, Max Planck's 'scientific realism' — a coherent view of the object and goal of physical knowledge — is a tentative philosophical legitimization of the 'new physics'. Planck sees the most important events that took place in theoretical physics in the first decades of our century as a failure of mechanism, yet also as a confirmation of the essentialistic point of view. His philosophical substantiation of this view and his criticism of the phenomenalistic, positivistic theory of physical knowledge are based on distinction between the world of sense, the real physical world, and the physical picture of the world *(das physikalische Weltbild)*. Similar views were expressed by Einstein, beginning especially with his paper *Physics and Reality* (1936). The significance of conservative reactions to the theory of relativity, of P. Duhem's attacks against 'German physics', and of the campaign conducted by Ph. Lenard, J. Starck and other scientists against 'Jewish physics' are also examined in the general setting of the confrontation between the essentialistic direction and the phenomenalistic one.

The second part highlights and analyses philosophical assumptions underlying various attitudes towards the quantum theory, the long controversy on the interpretation of quantum mechanics, and more recent disputes about the general direction of research in particle physics. It is from this angle that the doubts and reticence classical minds like Schrödinger, Einstein and Planck himself had about the early quantum theory are considered, as well as the great debate between the critics and advocates of the standard interpretation of quantum mechanics — between Einstein and Bohr in the first place — which is followed up to the recent discussions triggered by Bell's inequalities and by the crucial experiments these have made possible between quantum mechanics and local hidden variables theories, as well as the criticism of the quarks theory, and of the atomistic strategy in microphysics in general, undertaken by Heisenberg in the last period of his life. Many facts on which the historical study of these disputes throws light can hardly be explained in the framework of the current views on the objectivity and philosophical neutrality of scientific knowledge. Neither the competence, nor the good faith of the opponents — particularly of those that were in a minority, like Einstein, Schrödinger, de Broglie, or Heisenberg in the latter part of his career — have ever been questioned. Every side engaged in the controversy hoped that certain experimental data or theoretical arguments would have compulsive power and bring the discussion to an end. Why were their expectations deceived ? A plausible assumption is that in scientific disputes of this kind, the cogency of technical arguments is annihilated by deep-seated active presuppositions which divide the opponents. These presuppositions are tacit to a great extent and therefore difficult to define. Spontaneously, each opponent assigns them a privileged position, i.e. he proceeds from them without submitting them to a critical examination. They may be regarded as the basis of scientific thinking, which one has to accept beforehand in order to be able to examine scientific ideas and arguments rationally and to discuss them critically. In fact, philosophical presuppositions are always premises, not subject of critical discussion, at least as long as scientists debate scientific matters, not general philosophical problems formulated outside of a sharply outlined scientific context. Theoretical physicists have never gone very far in clarifying and explaining the philosophical suppositions that divide them. Inasfar as they become aware of the active role philosophical differences may play in their disputes about scientific matters, they will agree to define these differences as momentarily irreducible, unbridgeable. This is true not only in a practical sense — since it is highly unlikely that a fullfledged scientist will radically change his philosophical beliefs — but also in principle — because it is not possible to identify a jointly shared framework in which these beliefs can be examined critically. I called *conservative* the position adopted by Einstein, Schrödinger and the champions of the hidden variables theories in the great dispute about the foundations of quantum physics only with a view to emphysizing their point of view that, unlike physical hypotheses proper, the basic principles of scientific research cannot be revised in the light of the latest experimental data.

No doubt, the philosophy of a theoretical physicist is the expression of a certain way of understanding the historical experience of development in his own field. However, this 'philosophy' is a fairly flexible pattern that can always be fitted to past events quite satisfactorily. That is why in disputes of the kind considered in this book, historical-critical arguments have little chance of inducing a fundamental change in the views of one's opponent. Scientific isolation itself does not prove effective in the case of truly powerful, independently-minded personalities. Philosophically strongly motivated scientific programmes, such as Einstein's unitary field theory, the hidden variables theories or the strategic alternative Heisenberg opposed to the atomistic explanatory model have been tenaciously pursued despite the failure of repeated attempts to obtain conclusive physical results. When a scientist has no doubts about his goal — because it is the only one that seems compatible with his scientific ideal — failures, however numerous they may be, express, in his opinion, only personal limitations and shortcomings. In no case will these failures be taken as a sign that the scientific programme he shares has no prospects. In principle, only further scientific developments might convincingly prove to a scientist that his philosophical intuitions are inadequate. Over the short time-span of a life however, these developments do not appear so clearcut and irreversible as to justify a reshaping of the groundwork of the individual's scientific thinking. It is therefore with a clear conscience that theoretical physicists may leave to the future the arbitration of their philosophical differences.

General conclusions drawn from the historical studies are set forth throughout the book and dealt with more systematically in the final chapter. Explanatory ideals, the criteria of scientific excellence, the 'principles of research' may be described as *a priori* in a pragmatic, weak sense of the term. *A priori* first of all because they appear to those who share them as the most general frameworks of scientific thinking, as basic requirements of every effort for a genuine description and explanation of nature. *A priori* also because they will not be overthrown by new data of scientific experience. They can only be judged in the light of the experience gained through the historical development of theoretical science. Even the sentences pronounced by this court can only be considered final in a broad historical perspective. As long as they are unanimously shared by the scientific community, many philosophical presuppositions which support physical thinking remain unuttered and not infrequently unconscious. They are perceived as 'evidences of thought'. To those who share them they do not appear to be what they actually are, that is, philosophical options. The theoretical scientist becomes often aware of the philosophical determinations of his own thinking only in relation to a scientific thinking that relies on radically different philosophical suppositions, a thinking that calls in question what he was formerly inclined to assign to the very structure of theoretical science as a whole. Principles of which so far he has spontaneously thought that they belong to the nature of human reason, of 'scientific reason', now prove to be the irreducible substance of his own philosophical commitments.

Admitting that commitments of an essentially philosophical nature exert a determining influence on a theoretical scientist's judgement is not tantamount to an outright rejection of the current view of scientific objectivity and of the distinction between the context of discovery and the context of justification. As long as these commitments are generally shared, they are absorbed into the very substance of a discipline and nothing signals out their existence and action. This is indeed how things are in current scientific life, except some very special episodes in the history of a theoretical science. Consequently, the present study points out not only the limited validity of deeply rooted representations of scientific objectivity, but also their relative justification and the reasons for their great appeal.

CONTENTS

Foreward 9

INTRODUCTION 15

Chapter I — The Current View of Scientific Objectivity 19

Chapter II — The Discovery of the Philosophical Understructure of Scientific Theories as a Major Feature of a Historical Outlook on the Development of Scientific Thinking . 36

PART ONE — THE ESSENTIALIST AND THE PHENOMENALISTIC DIRECTIONS IN PHYSICS; 'MECHANISTIC PHYSICS', 'ENERGETIC PHYSICS' AND NEW PHYSICS 63

Chapter I — Mechanistic Physics versus Romantic Physics; Philosophical Suppositions of the Mechanistic Programme 69

Chapter II — The Phenomenalistic Reaction; E. Mach's Economic Biological Theory of Knowledge and Theory of Physical Konwledge . . 77

Chapter III — Energetics and 'the Hypotheses-Free Natural Science' 89

Chapter IV — Philosophical Premises and Implications of the Scientific Controversy about Atomistics 100

Chapter V — M. Planck's 'Scientific Realism' as a Philosophical Legitimization of the New Physics 114

Chapter VI — Philosophical Reasons of Opposition to the New Physics. The 'German Physics' of P. Duhem and the 'Jewish Physics' of Ph. Lenard 128

PART TWO — PHILOSOPHICAL PRESUPPOSITIONS IN QUANTUM MECHANICS INTERPRETATIONS 145

Chapter I — Beginnings of the Quantum Theory; the Quantum Principle and the Idealizations of Classical Physics 149

Chapter II — Emergence of the Standard Interpretation. Philosophical Significance of the Principle of Complementarity 160

Philosophical Interlude 198

Chapter III — Conservative Reactions to the Standard Interpretation : Einstein and Schrödinger . 203

Chapter IV — Conservative Reactions to the Standard Interpretation : Hidden Variables Theories 250

Chapter V — 'Objective' or Realistic Interpretations as Expressions of Philosophical Dissatisfaction' with the Standard Interpretation of Quantum Mechanics 279

Chapter VI — Bell's Inequalities and the Present Alternative in the Interpretation of the Foundations of the Quantum Theory . . . 310

Chapter VII — Epilogue. A Philosophical Criticism of the Quarks Theory 332

SOME CONCLUSIONS 349

Bibliography . 369

English Summary . 385

ERATĂ

pagina	în rîndul	în loc de	se va citi
100	1 din titlu	Permise	**Premise**
383	8 de sus	1891	1881

La pagina 212, rîndurile 8 și 9 din nota de subsol 10 se vor citi: Einstein /12/, pag. 143). Peste cîțiva ani, la 16 februarie 1936, Einstein îi scrie lui Besso: „Socotesc, la urma urmei, fizica

„Este posibil, fără îndoială, şi este chiar de dorit ca acele intuiţii şi înclinaţii filosofice spontane care orientează, ca un puternic curent subteran, atitudinea şi comportarea omului de ştiinţă exactă în situaţii critice, excepţionale, să primească o elaborare sistematică, pînă la dimensiunile unui program filosofic... Nu trebuie însă să pierdem din vedere că reflecţiile filosofice mai sistematice ale marilor personalităţi ştiinţifice oferă rareori o explicitare şi întemeiere cît de cît satisfăcătoare ale idealurilor lor de cunoaştere şi, prin urmare, ale opţiunilor lor ştiinţifice fundamentale, care-i despart de alţi cercetători ai timpului sau de cei din vremurile trecute, într-un cuvînt a ceea ce constituie esenţialul în filosofia lor ca practicieni ai cercetării şi ca arbitri ai opiniei ştiinţifice. Din diferite motive, o parte importantă din filosofia oamenilor de ştiinţă exactă a rămas pînă astăzi o filosofie nescrisă".

Lei 24,50